

Журнал
Тоннельной ассоциации России

Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

Зам. председателя редакционной коллегии

В. М. Абрамсон, канд. экон. наук
И. Я. Дорман, доктор техн. наук

Ответственный секретарь

В. В. Внутских

Редакционная коллегия

В. П. Абрамчук
В. В. Адушкин, академик РАН
В. Н. Александров
М. Ю. Беленький
А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук
Н. Н. Бычков, доктор техн. наук
С. А. Жуков
А. М. Земельман
Б. А. Картозия, доктор техн. наук
Е. Н. Курбацкий, доктор техн. наук
С. В. Мазеин, доктор техн. наук
И. В. Маковский, канд. техн. наук
Ю. Н. Малышев, академик РАН
Н. Н. Мельников, академик РАН
В. Е. Меркин, доктор техн. наук
М. М. Рахимов, канд. техн. наук
Б. И. Федунец, доктор техн. наук
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук
Е. В. Щекудов, канд. техн. наук
Ш. К. Эфендиев, председатель
ТА Азербайджана

Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172
факс: (495) 607-3276
www.rus-tar.ru
e-mail: info@rus-tar.ru

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71
127521, Москва,
ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,
оф. 4206
e-mail: metrotunnels@gmail.com

Генеральный директор

О. С. Власов

Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован
Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «Метро и тоннели», 2017

№ 1–2 2017

В Тоннельной ассоциации России

Отчетно-выборная конференция
Тоннельной ассоциации России **2**

Обучение современным методам строительства тоннелей **4**
С. Г. Елгаев, С. В. Мазеин, Ю. В. Писарев

Юбиляры отрасли

СМУ-158 АО «Трансинжстрой» – 60 лет **6**
В. И. Грибов

Кошелев – это звучит гордо! **10**
Н. Н. Соловьева

Геофизические исследования

Визуализация данных ЕЭМИ для решения задач контроля
и прогнозирования состояния массивов горных пород
и конструкций капитальных горных выработок **12**
К. В. Романевич

Подземное пространство

Основные проблемы, задачи и перспективы
освоения подземного пространства Москвы **18**
В. Е. Меркин, Д. С. Конюхов

Щитовая проходка

О методах диагностики неоднородных инженерно-
геологических условий при щитовой
проходке тоннелей метрополитена **24**
Е. М. Пашкин, С. В. Мазеин

Инновации мониторинга проходки EPB ТБМ
без осадок земной поверхности **28**
Б. И. Федунец, М. А. Потапов

Геотехника

Обеспечение сохранности эксплуатируемых сооружений
Московского метрополитена при проходке
инженерного коллектора щитовым способом **32**
Д. Е. Чёлушкин

Методика расчета устойчивости
грунтовых массивов, армированных
горизонтальными стержнями круглого сечения **36**
А. О. Кузнецов, Г. Н. Полянкин

Зарубежный опыт

Высокие технологии Херренкнехт:
уникальная проходка под Босфором **39**
Х. Йоханнис

О тоннелях и тоннельщиках

Шальные штольни **44**
В. З. Коган

Памяти Геннадия Яковлевича Штерна **46**
Н. Н. Соловьева

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Разработка забоя
левого станционного
тоннеля станции
«Верхние Лихоборы»,
декабрь 2016 г.
(с. 4)

ОТЧЕТНО-ВЫБОРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ РОССИИ

28 февраля 2017 г. состоялась VII Отчетно-выборная конференция Тоннельной ассоциации России, на которой подведены итоги работы организации в 2013–2016 гг. и сформированы руководящие органы ассоциации на новый отчетный период.

По данным Мандатной комиссии отчетно-выборной конференции для участия в этом мероприятии организациями-членами ТАР было делегировано 70 представителей. Личное участие в конференции принял 51 делегат. 9 делегатов выдали доверенности на представление их интересов другим членам Тоннельной ассоциации. Приятным событием для делегатов конференции стало участие в ней председателя Тоннельной ассоциации Азербайджана г-на Эфендиева Ш. К. и его коллеги г-на Алиева А. М., а также председателя правления Тоннельной ассоциации Республики Беларусь г-на Чеканова В. В. В работе конференции приняли также участие лауреаты премии им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России – 2016», которые были приглашены для участия в процедуре награждения их памятными медалями и удостоверениями лауреата.

С отчетным докладом на конференции выступил председатель правления ТАР С. Г. Елгаев. В докладе была дана общая оценка развития подземного строительства в России в 2013–2016 гг. и отражены все основные мероприятия, которые проведены Тоннельной ассоциацией в этот период. Доклад (в сокращенном виде) будет представлен на сайте Тоннельной ассоциации России.

В ходе последовавших за докладом прений выступили 10 делегатов конференции, в том числе: В. Е. Меркин (НИЦ Тоннельной ассоциации России), В. Н. Александров (АО «Метрострой» СПб), В. П. Абрамчук (ФГУП «УС-30»), В. Г. Терзиманов (АО «Казметрострой»), И. А. Усольцев (АО «Объединение «Ингеоком»), И. Я. Дорман (АО «Метротранс»), А. А. Гончаров (АО «Трансинжстрой»),



С отчетным докладом на конференции выступил председатель правления ТАР С. Г. Елгаев

Н. И. Кулагин (АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»); М. Ю. Беленький (АО «Мосметрострой»), Е. Г. Козин (ГУП «Петербургский метрополитен»). В целом, работа правления Тоннельной ассоциации России в отчетный период признана удовлетворительной.

Вместе с тем, в выступлениях в адрес правления Тоннельной ассоциации России прозвучал и ряд критических замечаний и предложений. В частности:

- высказано пожелание усилить статус и роль Экспертного научно-технического совета ТАР в выборе проектируемых вариантов строительства подземных сооружений;
- необходимо больше уделять внимания формированию технической политики в области метро- и тоннелестроения;

- правлению Тоннельной ассоциации России необходимо принимать участие в формировании программ обучения специалистов для подземного строительства;
- отмечена недостаточно активная работа с региональными отделениями ТАР и др.

Затем, на конференции был заслушан отчет ревизионной комиссии. Финансово-хозяйственная деятельность Тоннельной ассоциации России в отчетный период признана удовлетворительной. Отчет ревизионной комиссии утвержден отчетно-выборной конференцией.

В ходе отчетно-выборной конференции проведены выборы нового состава правления и ревизионной комиссии Тоннельной ассоциации России.

Выступает В. Е. Меркин



Выступает Н. И. Кулагин





Награждение лауреатов конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России – 2016»

В новый состав правления ТАР избраны:

- | | |
|-------------------|------------------|
| Абрамчук В. П.; | Крохалев Б. Г.; |
| Бабушкин Н. Ф.; | Курбацкий Е. Н.; |
| Беленький М. Ю.; | Ломоносов С. М.; |
| Бочкарев А. Ю.; | Максимов А. А.; |
| Бычков Н. Н.; | Маслак В. А.; |
| Внутских В. В.; | Меркин В. Е.; |
| Дорман И. Я.; | Монич А. М.; |
| Елгаев С. Г.; | Полянкин Г. Н.; |
| Ершов А. В.; | Рахимов М. М.; |
| Жуков С. А.; | Старков А. Ю.; |
| Иванчиков В. И.; | Усольцев И. А.; |
| Кавказский В. Н.; | Щекудов Е. В.; |
| Каргозия Б. А.; | |

Председателем правления Тоннельной ассоциации России избран С. Г. Елгаев.

В новый состав ревизионной комиссии избраны: Е. Ю. Титов, А. В. Евстратов и М. З. Марданшин.

Отчетно-выборная конференция завершилась церемонией награждения лауреатов конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России – 2016».

Лауреатами конкурса стали:

в номинации «Инженер года в области проектно-конструкторских работ»:

- Маковецкий Олег Александрович, заместитель генерального директора ОАО «Нью Граунд»;
- Ермолаев Сергей Евгеньевич, главный специалист ОАО «Метрогипротранс»;
- Гордасевич Наталья Владимировна, главный инженер проекта ОАО «Метрогипротранс»;

- Волкова Светлана Эдуардовна, главный специалист отдела проектирования вентиляции ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»;

- Замятин Валерий Валерьевич, ведущий инженер электротехнического отдела ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»;

- Нагорный Станислав Янович, главный технолог-геолог ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»;

- Филиппович Руслан Сергеевич, ведущий инженер, начальник группы отдела проектирования и организации строительства тоннелей и специальных сооружений ОАО «Минскметропроект»;

в номинации «Инженер года в области строительства метрополитенов в Российской Федерации»:

- Галкин Владимир Алексеевич, заместитель главного инженера по подземному строительству АО «Трансинжстрой»;

- Азаров Алексей Анатольевич, мастер горного участка на подземных работах АО «Трансинжстрой»;

- Градусов Алексей Александрович, заместитель главного инженера «СМУ № 12 Метростроя»;

- Сатышев Евгений Андреевич, заместитель главного инженера «СМУ № 12 Метростроя»;

- Зуев Станислав Сергеевич, заместитель генерального директора ОАО «Нью Граунд»;

- Набиев Мазахир Абиляшах оглы, начальник Отряда Тоннельного строительства № 2 ЗАО «Бакинский метрополитен»;

- Кузнецов Валерий Дмитриевич, директор управления механизации ОАО «Метрострой» СПб;

- Вязанкин Павел Юрьевич, заместитель главного инженера по производству ЗАО «Метроподземстрой»;

в номинации «Инженер года в области строительства инженерных коммуникаций и коммунальных тоннелей»:

- Алифанов Дмитрий Сергеевич, начальник технического отдела СМУ № 680 ФГУП «Управление строительства № 30»;

- Козин Евгений Германович, первый заместитель начальника метрополитена ГУП «Петербургский метрополитен»;

в номинации «Инженер года в области строительства городских и горных автомобильных и железнодорожных тоннелей»:

- Галанов Станислав Александрович, главный инженер проекта в отделе ГИПов, Проектное бюро № 1 ФГУП «Управление строительства № 30».

После отчетно-выборной конференции прошло заседание нового состава правления Тоннельной ассоциации России, на котором был сформирован президиум правления численностью 7 человек и утвержден бюджет организации на 2017 г.

В новый состав президиума правления избраны: М. Ю. Беленький; А. Ю. Бочкарев, В. В. Внутских, С. Г. Елгаев, С. А. Жуков, В. И. Иванчиков и А. Ю. Старков.

На состоявшемся после этого заседании президиума правления Тоннельной ассоциации России было произведено распределение обязанностей между избранными в него членами правления:

В. И. Иванчиков – Первый заместитель председателя правления – руководитель Исполнительной дирекции;

М. Ю. Беленький, А. Ю. Бочкарев, С. А. Жуков и А. Ю. Старков – заместители председателя правления;

В. В. Внутских – Ученый секретарь правления. Желаем вновь избранным членам правления и президиума правления Тоннельной ассоциации России успешной и плодотворной работы!

ОБУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫМ МЕТОДАМ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ

С. Г. Елгаев, д. т. н., Тоннельная ассоциация России
С. В. Мазеин, д. т. н., Тоннельная ассоциация России
Ю. В. Писарев, д. т. н., проф., МИИТ

Освещены основные цели и задачи занятий по повышению квалификации инженерно-технических работников, занятых в строительстве тоннелей, метрополитенов и прочих подземных сооружений. Приведены примеры выездных занятий в виде учебных экскурсий на строящиеся объекты подземной инфраструктуры. Обозначены пути решения проблем организации учебного процесса.

Вот уже четвертый год на кафедре транспортных тоннелей и метрополитенов МИИТа (МГУПС), работающей при Тоннельной ассоциации России, проводятся занятия по повышению квалификации инженерно-технических работников (ИТР) по программе «Современные эффективные, безопасные методы и средства строительства тоннелей, метрополитенов, прочих подземных сооружений». Всего за истекший период обучено более 250 человек.

Цели обучения повышающих свою квалификацию слушателей:

- совершенствование компетенций специализации «Тоннели и метрополитены» согласно стандарту специальности 271501 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», утвержденного приказом Минобрнауки от 24 декабря 2010 г. № 2052;
- повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации инженера-строителя, инженера, руководителя или специалиста в области строительства тоннелей, метрополитенов и прочих подземных сооружений.

Категория слушателей – это лица, имеющие среднее профессиональное и (или) высшее образование, а также получающие среднее профессиональное и (или) высшее образование.

Форма обучения – очная, трудоемкость программы – 72 часа. Сроки освоения программы – 9 рабочих дней. Режим занятий – 8 часов в день. Занятия проводят ведущие ученые и специалисты, доктора наук, профессора – члены Тоннельной ассоциации России.

В ходе обучения слушателям даются теоретические и практические знания в области строительства тоннелей, метрополитенов



Рис. 1. Стартовая конструкция второго тоннеля с/п № 5.2 СВУ ТПК, 10.11.2016 г.

и прочих подземных сооружений. Результатом получения таких знаний является совершенствование компетенций, необходимых для выполнения должностных обязанностей инженера-строителя, инженера, руководителя или специалиста в области строительства тоннелей, метрополитенов и прочих подземных сооружений.

После прохождения обучения слушатель будет знать:

- нормативные требования к проектированию плана и продольного профиля тоннельного участка трассы;
- требования к проведению инженерно-геологических изысканий горного массива в месте расположения тоннеля;
- нормы и правила проектирования конструкций транспортных тоннелей и

тоннелей метрополитена, особенности их расчёта;

- различные методы строительства подземных сооружений;
- свойства промышленных взрывчатых материалов и условия их применения при проходке тоннелей;
- особенности взаимодействия подземного сооружения с вмещающим его горным массивом в период сейсмической активности;
- способы защиты конструкций подземных сооружений от сейсмических воздействий;
- технологию буровзрывного способа сооружения тоннелей и область его применения;
- технологии специальных способов работ по сооружению тоннелей;

Рис. 2. Пройденный участок первого тоннеля с/п № 5.2 СВУ ТПК, 10.11.2016 г.



Рис. 3. Слушатели на получении инструктажа по ТБ перед экскурсией





Рис. 4. Строительные работы на станции «Верхние Лихоборы», 07.12.2016 г.



Рис. 5. Разработка забоя левого станционного тоннеля, 07.12.2016 г.

- нормативные документы и порядок осуществления технического обслуживания транспортных тоннелей и метрополитенов;
- экономические основы проектирования и строительства транспортных тоннелей, метрополитенов, прочих подземных сооружений, ресурсы и основы финансовой деятельности тоннелестроительных организаций.

В соответствии с планируемыми результатами обучения слушатель сможет:

- проектировать план и продольный профиль тоннельного участка трассы;
- разрабатывать проект несущей конструкции подземного сооружения и выполнять её статический и динамический расчет;
- составлять технологическую схему на сооружение тоннеля, учитывающую особенности грунтового массива, в котором располагается тоннель;

- определять характер и величину напряжений, возникающих в обделке подземного сооружения от влияния сейсмических воздействий;

- выполнять экономические расчеты по предложенным проектам на сооружение различных подземных сооружений, готовить сметную документацию.

При этом слушателя готовят к начальным навыкам владения:

- средствами и способами проведения технического обслуживания транспортных тоннелей;

- современной методикой определения влияния сейсмических воздействий на подземные сооружения и современными методами их расчета на сейсмические воздействия;

- современными методами реализации экономических расчетов с использованием вычислительной техники.

Наименование курсов программы обучения по учебному плану следующие.

1. Основные понятия и определения в подземном строительстве (строительство

подземных сооружений в современных условиях; основы проектирования и организации строительства тоннелей и метрополитенов; конструкции подземных сооружений).

2. Особые случаи строительства подземных сооружений (строительство подземных сооружений открытым и закрытым способом; строительство вертикальных стволов; строительство подземных сооружений в неустойчивых грунтах).

3. Инженерные системы метрополитена.

4. Техническое обеспечение строительства подземных сооружений (современная тоннелепроходческая и горно-строительная техника).

5. Охрана окружающей среды.

Вместе с тем, программа обучения постоянно совершенствуется, вводятся актуальные в настоящее время дисциплины, например «Оценка инженерно-геологических условий при строительстве подземных сооружений» (лектор – проф. Е. М. Пашкин) и «Государственный строительный надзор и строительный контроль» (лектор – проф. А. Г. Григорьев).

По оценке самих обучающихся, повышение квалификации по указанной программе является для них весьма полезным и результативным.

В учебном плане стоят и реализуются не только лекции, но и практические и семинарские занятия, а также, что особенно ценно, выездные занятия в виде экскурсий на строящиеся объекты подземной инфраструктуры г. Москвы.

За последние циклы обучений слушатели познакомились с методами строитель-

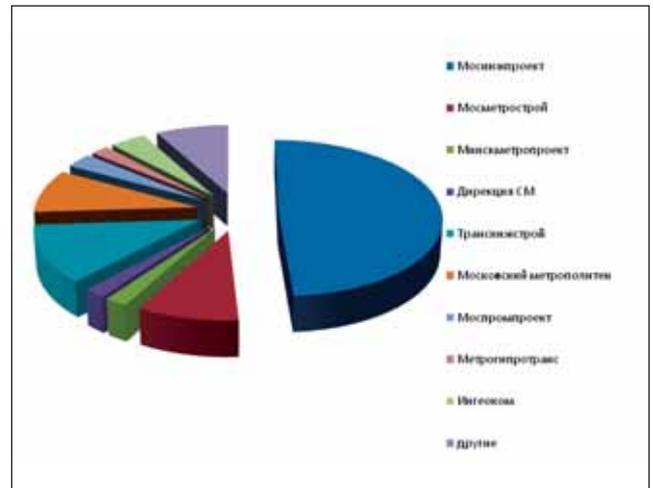


Рис. 6. Распределение слушателей по организациям

ства тоннелей Третьего пересадочного контура и станции, строящейся подземным способом на Люблинско-Дмитровской линии Московского метрополитена (рис. 1–5).

Руководители предприятий, организаций, учреждений осознали важность повышения квалификации своих специалистов и в основном соблюдают утвержденные графики направления ИТР на обучение. Наиболее активные организации, заинтересованные в квалификационном росте своих специалистов, показаны на рис. 6. Однако хотелось, чтобы и другие предприятия уделяли внимание квалификации своих специалистов, занятых в подземном строительстве, в условиях расширяющегося строительства Московского метрополитена и роста аварийности строительных работ.

По вопросам подачи заявок на обучение обращаться в отдел дополнительного профессионального образования Института пути, строительства и сооружений МИИТа (МГУПС), e-mail: homchenkova.elena@mail.ru, тел. (499) 972 3818.



СМУ-158 АО «ТРАНСИНЖСТРОЙ» – 60 ЛЕТ

В. И. Грибов, начальник СМУ-158 АО «Трансинжстрой», заслуженный строитель России



60 лет – это тот возраст, который дает право подвести некоторые итоги, проанализировать солидный пройденный путь и сде-

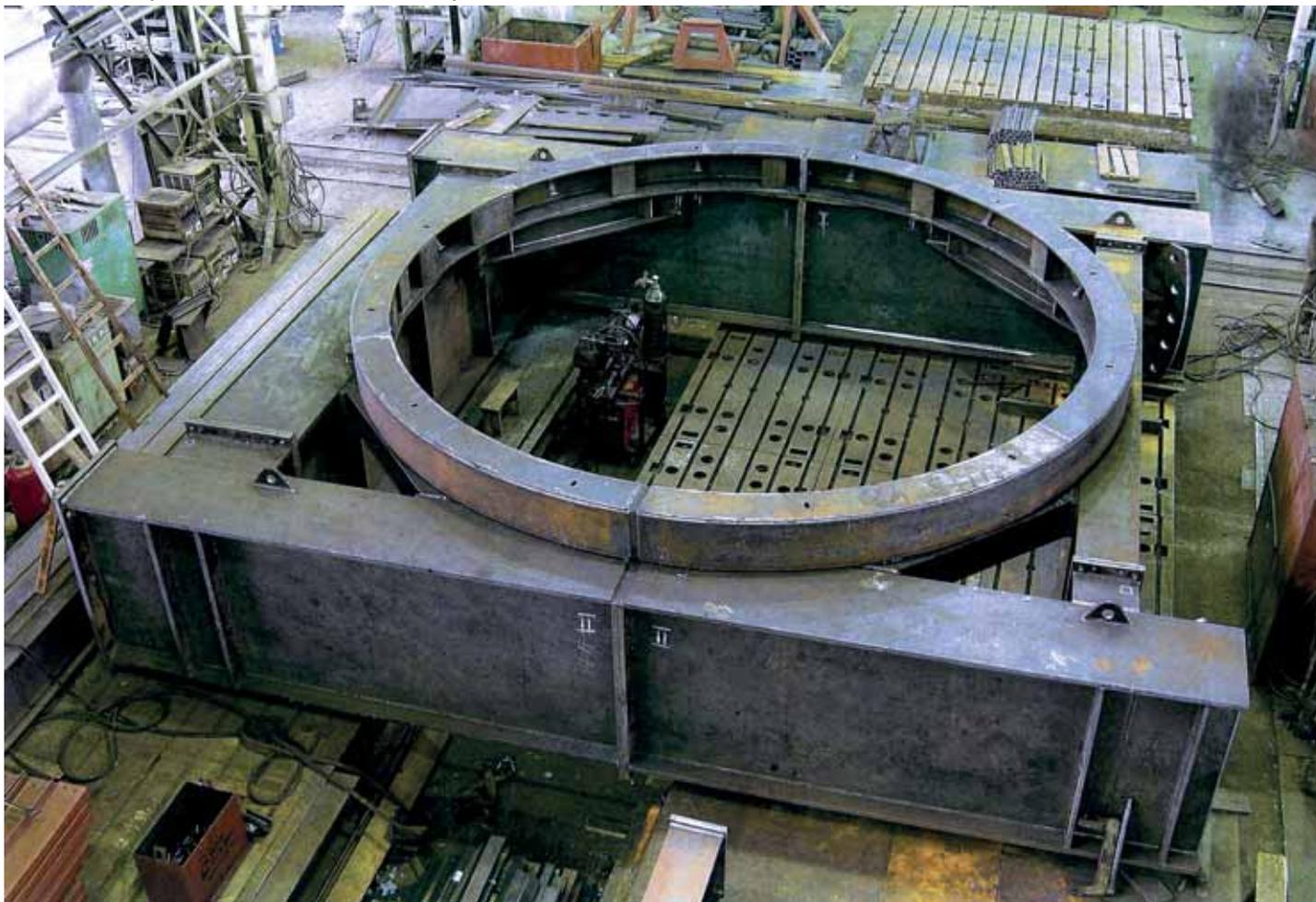
лать определенную корректировку на нынешнюю ситуацию в строительной отрасли.

История коллектива СМУ-158 начиналась в июле 1957 г., когда в составе Управления строительства (ныне АО «Трансинжстрой») была образована монтажная организация, которой поручалось вести работы по монтажу проходческого оборудования, насосных и компрессорных станций, дизельных электростанций, трансформаторных подстанций, кабельных сетей, трубопроводов и металлоконструкций различного назначения. Кроме этого необходимо было создать производственную базу по изготовлению металлических конструкций и изделий, обеспечивающих потребности АО «Трансинжстрой». Организация, изначально призванная к выполнению сопутствующих строительномонтажных процессов, быстро перерастает в крупное специализированное Строительно-монтажное управление № 158, имеющее в своем составе механомонтажные участки, осуществляющие все виды монтажных работ, электромонтажные участки, выполняющие весь комплекс работ по обеспечению электроэнергией и сжатым воздухом строи-

тельных площадок, а так же все виды работ по постоянному монтажу. Учитывая возросший объем строительномонтажных работ, выполняемых АО «Трансинжстрой», соответственно увеличилась потребность в изготавливаемых металлоконструкциях, изделиях, основным изготовителем и поставщиком которых является так же наша организация.

СМУ-158 выступило с предложением и, при всесторонней поддержке руководства АО «Трансинжстрой», приступило в конце 80-х годов к работе по расширению производственной базы, комплектowaniu ее высокотехнологичным оборудованием, станочным парком, позволяющим на современном уровне решать стоящие перед АО «Трансинжстрой» задачи. Все эти усилия вылились в строительство и сдачу в эксплуатацию главного корпуса производственной базы (пять производственных цехов 24×96 м), административного корпуса, котельной, столовой, с перспективой выпуска 14000 тн металлоконструкций в год. Работы по возведению всех строительных конструкций, механо- и электромонтажные работы были выполнены силами ИТР и рабочих СМУ-158

Изготовление опорного кольца в механических мастерских





Изготовление входного комплекса метро



Входной комплекс станции «Строгино»

без привлечения субподрядных организаций! В данном случае СМУ-158 выступило как строительная организация и как структура по монтажу всего технологического оборудования завода и сопутствующих сооружений. Это показатель высочайшей квалификации руководства СМУ, инженеров, бригадиров, рабочих, которые, ни на минуту не останавливая существующее производство металлоконструкций и изделий, смогли в короткий срок в несколько раз увеличить объем выпускаемых изделий.

Один пример из производственной деятельности СМУ-158 этого времени. По заданию Главтоннельметростроя СМУ изготавливало межотсечные двери в перегонных тоннелях (так называемые перегонные затворы) для всех метростроев бывшего СССР и при этом осуществляло их монтаж и сдачу эксплуатирующей организации. При этом коллектив СМУ обеспечивал потребность всех коллективов АО «Трансинжстрой» в металлоконструкциях, изделиях (начиная от мелких изделий до горных комплексов, укладчиков и горнопроходческого оборудования).

На созданной коллективом СМУ производственной базе было освоено изготовление и монтаж на объектах метростроения линейки блоков типа АМБ и БМ. Эти металлобетонные блоки (тубинги) явились надежным заменителем традиционных чугунных и бетонных тубингов, а в особо сложных условиях были более эффективны и надежны. Например, при возведении таких сооружений метро, как подстанции, вентиляционные камеры, вентиляционные стволы, т. е. там, где требуется надежная защита дорогостоящего оборудования и кабелей от возможного водопритока в подземных условиях. Незаменимы блоки АМБ и БМ стали при реконструкции вентиляционных комплексов метрополитена, где другие методы «лечения» чугунных и бетонных обделок не дали удовлетворительных результатов. Ценность и практичность блоков БМ (АМБ) состоит в том, что их можно выпускать любых размеров и конфигураций, на своей производственной базе, что немаловажно при сжатых сроках строительства.

В настоящее время на производственной базе коллектив СМУ-158 продолжает совершенствовать выпускаемые виды продукции: освоил выпуск более совершенных перегонных, вентиляционных и станционных затворов серии «К», осуществляет выпуск по индивидуальным проектам Метрогипротранса передвижные механизированные опалубки для сооружения сводов станций метро. Эти комплексы дают возможность не только значительно сократить сроки возведения станций метро, но и создать архитектурно-художественное полотно свода станции посредством кессонов различной конфигурации и глубины, индивидуальное для каждой станции.

СМУ-158 активно использует современные строительные технологии и новейшие конструкторские разработки, авторами (соавторами) которых являются наши сотрудники.

В 2016 г. организация награждена дипломом Тоннельной ассоциации России «За внедрение прогрессивных решений по созданию нестандартных изделий и конструкций для метростроения».

В деятельности СМУ-158 существует принцип, следуя которому организация выполняет полный технологический цикл работ собственными силами: изготовление оборудования и изделий – заводские испытания – монтаж – наладка – сдача в эксплуатацию. Это наиболее верный путь, который в наших условиях дает наибольшую эффективность, и мы стараемся двигаться в этом направлении.

Следующее направление деятельности коллектива – монтаж металлоконструкций, изделий, оборудования, затворов и вентклапанов, электрооборудования, сетей – вторая важная задача, поставленная руководством АО «Трансинжстрой» перед коллективом СМУ. Везде, где трудится многочисленный коллектив АО «Трансинжстрой», его структурные подразделения: СМУ-153, СМУ-154, СМУ-155, СМУ-161, СМУ-162 – там в обязательном порядке трудятся рабочие и ИТР СМУ-158. Чтобы оживили строительные конструкции станций метро, вестибюли, пешеходные переходы, тоннели, вентиляционные камеры, вентиляционные и технологи-

ческие стволы и громадное количество других больших и малых сооружений, объединённых одним емким словом – метрополитен, необходимо вдохнуть в эти сооружения душу, чтобы они «задышали», «задвигались», «закружились» в каком-то особенном гармоничном танце, название которому – надежная, бесперебойная работа Московского метрополитена. Вот к этой цели направлены усилия, талант, профессионализм коллектива, вот к этой цели – дать жизнь строительным сооружениям – направлена деятельность коллектива СМУ-158.

Вот только некоторые адреса деятельности СМУ-158 за его 60-летнюю историю: участие в строительстве станций «Баррикадная», «Улица 1905 года», «Боровицкая», сооружение пересадочного узла трех действующих станций «Киевская», возведение станций «Крылатское», «Парк Победы», «Кунцево», «Славянский бульвар», «Строгино», «Зябликово», «Шипиловская», «Борисово», «Новокосино», «Минская», «Ломоносовский проспект», «Раменки».

При строительстве участка от станции «Парк Победы» до станции «Строгино» были возведены две станции под общим названием «Парк Победы». Обделка этих станций уникальна для метростроения. Она выполнена из стальных элементов, изготовленных СМУ-158 на производственной базе. Эти элементы монтировались на производстве в единую конструкцию, которая затем бетонировалась на месте литой бетонной смесью. Станция «Парк Победы» стала одной из самых красивых, построенных в последнее время. Неизменным для строительства метро остается одно – все сооружаемые станции становятся достойным украшением нашей столицы. Красивы и интересны не только станции, но и вестибюли, входные комплексы. Попадая в эти дворцы, не покидает ощущение, что эти сооружения созданы с любовью, неравнодушными людьми и эта любовь видна в каждом уголке подземного города.

В СМУ-158 сложились прекрасные партнерские отношения с коллективом проектировщиков «Метрогипротранс» и «Метро-Стиль». Хочется поблагодарить за творческий совместный труд, решение сложных



Изготовление трубных узлов в механических мастерских СМУ-158



Монтаж дверей из нержавеющей стали в вестибюле станции «Раменки»

производственных задач таких корифеев метростроя как Шумаков А. И., Хихлуха Б. А., Кривенко А. А., Морозов П. В., Белова М. А., Королев Е. Г., Борзенков Л. Л.

Кроме работ на строительстве метрополитена СМУ-158 совместно с другими структурными подразделениями АО «Трансинжстрой» осуществляло большой объем работ по жилищному, административному и культурно-спортивному строительству. Так, в г. Одинцово смонтированы крупные силовые станции, электроподстанции и ЦТП с разводящими тепловыми и электрическими сетями. Проложен многокилометровый водовод диаметром 800 мм от Рублевского водохранилища для обеспечения питьевой водой г. Одинцово. Выполнены электромонтажные и сантехнические работы при сооружении большого комплекса на 600 коек, комплекса общежитий, профилактория «Липки».

Изготовлены и смонтированы с высоким качеством уникальные конструкции Ледового дворца спорта в г. Одинцово. При изготовлении и монтаже инженерами СМУ был применён ряд новейших технологических решений (например, блочный монтаж из двух металлических ферм Ледового дворца пролётом $L = 46$ м), что дало возможность значительно сократить сроки монтажных работ, поднять качество и оперативность монтажа. Ледовый дворец стал украшением г. Одинцово, а коллективу – ещё одним памятником профессионализма рабочих и инженеров СМУ-158.

Наряду со строительством новых станций и линий метрополитена, изготовлением различных видов металлоконструкций и изделий, коллектив СМУ-158 выполнил большой объем работ по реконструкции, модернизации, ремонту перегонных тоннелей, вентиляционных комплексов Московского метрополитена. Московскому метрополитену более 80 лет, естественно при такой интенсивной эксплуатации требуется своевременная замена оборудования и коммуникаций, усиление существующих обделок тоннелей, стволов и выработок для размещения оборудования. Вести эти сложные работы без остановки движения, вблизи действующего электрооборудования и кабелей высокого напря-

жения руководство АО «Трансинжстрой» поручило СМУ-158 – организации, имеющей опыт, технические возможности и квалификацию ИТР и рабочих для ведения таких сложных и опасных работ. При реконструкции вентиляционных комплексов выполняется весь комплекс работ по усилению строительных конструкций, замене вентиляционного и электрооборудования, затворов и сетей. Изготавливается и монтируется металлообойма верхней и нижней подходной, вентстола из металлобетонных блоков БМ (АМБ), которая при совместной работе с существующими несущими конструкциями метрополитена дает наиболее эффективный результат. Такое решение не только обеспечивает надежность и долговечность несущих конструкций метрополитена, но и создает комфортные условия для работы вентиляционного, электрооборудования, электрических сетей и, в конечном итоге, комфорт и удобство для пассажиров метрополитена.

В 2014–2017 гг. коллектив СМУ-158 вместе с большим коллективом АО «Трансинжстрой» ударно трудится над реализацией программы работ по строительству участка Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена от станции «Парк Победы» до станции «Раменки». СМУ-158 и здесь традиционно выступило главным изготовителем всех металлоконструкций, изделий и оборудования, необходимых для строительства данного участка, а также играло роль главного монтажника всех этих изделий. Коллектив с честью выполнил в срок задачи, поставленные руководством АО «Трансинжстрой», и сдал в эксплуатацию участок Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена.

В короткой статье трудно перечислить, тем более описать, тот громадный объем выполненных за 60 лет сложных, подчас уникальных строительно-монтажных работ, в которых принимали самое активное участие:

- коллективы бригад: Пекина И. С., Вишневого Л. П., Кузнецова А. А., Баринаова А. С., Мифахудинова А. А., Козлова Н. А., Русова С. М., Ревякина Н. И., Алешина П. К., Мишечкина А. С., Миронова П. А., Дегтева В. П., Гурьянова А. А.,

- Сударева А. В., Беседина Н. В., Мартыньянова В. А., Грачева И. М., Папихина В. А., Агурева Ю. В., Ипакова В. В., Савельева В. Ф., Шахтохина А. В.;

- производственные участки, возглавляемые в разное время: Ковалевым В. Ф., Трубиным Е. Я., Лемаевым И. С., Болотниковым И. И., Нефедовым В. П., Бирюковым В. Ф., Лесниковым Н. И., Суворовым А. А., Галаевым И. Г., Ширяевым А. А., Грыжиным Ю. И., Ручкиным В. С., Тимоновым В. Н., Макаровым В. В., Голосовым П. Н., Трондиным В. Н., Вирыским В. К., Пузановым В. Н., Слеповым М. М., Бокаревым В. С., Щуровым В. И., Зиновьевым С. С., Морозовым А. С., Исаевым В. В.;

- инженерно-технические работники: Карпета И. Е., Фокин М. Д., Зобов Ю. А., Новиков П. С., Сливка В. В., Тетеев А. П., Вара И. М., Абаляхин М. А., Колкотина А. И., Быканов А. В., Липунов Г. И., Милотин А. А. Коткина И. А.;

- руководители, специалисты аппарата управления: Подвигин А. Д., Кирдин В. В., Соколов А. Л., Мельников М. А., Михайлов В. А., Горбатов В. Д., Яковлев В. А., Бирюков В. Ф., Карягин Ю. В., Снегирев Д. Л., Котельников Г. А., Харламова Л. Н., Крайнов М. В., Аврьянова М. Н., Власова Т. Н., Корнеева Л. И., Сергеева Л. И., Локтева Г. В., Губанов Ю. В., Проценко А. И.;

- главные инженеры: Ястребов Б. П., Новиков В. М., Ермаков А. И., Разинков В. А., Смирнов О. В., Федосов А. А.;

- начальники СМУ: Осколков В. Н., Рябцев В. Ф., Еркалов Г. В.

Славный путь прошел коллектив СМУ-158, и с гордостью встречает юбилей. За свой героический труд многие рабочие, инженерно-технические работники, специалисты и руководители удостоены высоких Государственных наград, почетных званий, стали лауреатами Государственных премий.

Коллектив СМУ-158 заслуженно пользуется большим авторитетом среди строительно-монтажных организаций, заказчиков, проектных организаций, руководства АО «Трансинжстрой» и Московского метрополитена, занимает достойное место в составе славного коллектива строителей АО «Трансинжстрой» и строителей г. Москвы.





2 декабря 2016 г. исполнилось 75 лет Александру Ивановичу Салану.

материально, построил производственные и жилые здания в г. Северобайкальске и филиал в п. Северомуйск. Бамтоннельпроект на месте строительства решал в сложнейших инженерно-геологических, сейсмических и природно-климатических условиях проблемы строительства тоннелей БАМ.

Были разработаны новейшие технологии инъекционной стабилизации дезинтегрированных до песка и глины совершенно неустойчивых водонасыщенных грунтов при гидростатическом давлении до 5 МПа, система комплексного водопонижения, конструкции сейсмостойких обделок.

Им был создан высококвалифицированный коллектив инженеров.

И сегодня институт «Бамтоннельпроект» с успехом выполняет проекты транспортных тоннелей.

В Санкт-Петербурге детище Александра Ивановича – двухэтажная односводчатая пе-

ресадочная станция, сооружение тоннелей с грунтовым гидравлическим пригрузом с помощью ТПМК, как горизонтальных, так и эскалаторных.

Александр Иванович является активным участником многих международных симпозиумов и конференций по линии ЖТА и Научных обществ. Был приглашен в качестве эксперта по проекту строительства тоннеля под Гибралтарским проливом.

Александр Иванович – кавалер ордена «Знак Почета», лауреат Премии Совета министров СССР, заслуженный строитель РФ, почетный транспортный строитель, лауреат золотой медали им. В. Г. Шухова.

Александр Иванович – известный спортсмен, мастер спорта СССР, член Олимпийской сборной СССР по классу каноэ.

Коллектив ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» поздравляет Александра Ивановича со знаменательным юбилеем и искренне желает ему доброго здоровья, творческих успехов и долгих лет жизни!

С 21.01.1986 г. Александр Иванович работал в ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», сначала начальником конструкторского отдела, затем главным инженером института – заместителем генерального директора.

До этого с июля 1978 г. по апрель 1985 г. он был главным инженером, начальником «Бамтоннельпроекта» филиала института «Ленметрогипротранс» Министерства транспортного строительства. Александр Иванович создал этот институт



26 марта 2017 г. известному специалисту в области метро- и тоннелестроения Рудольфу Изяевичу Касапову исполнилось 80 лет!

ему успешно влиться в дружный коллектив строителей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали. Именно здесь, в сложных условиях строительства Северомуйского и Байкальских тоннелей, ярко проявились его стойкий характер, инженерный талант и незаурядные качества крупного организатора строительного производства.

Рудольф Изяевич Касапов – автор многих изобретений и патентов, которые успешно внедрены при строительстве тоннелей и метрополитенов, инициатор и участник разработки современных машин и механизмов для подземного строительства. Многие из них до настоящего времени находят применение при строительстве подземных объектов.

Приятно отметить, что заметный след Рудольф Изяевич оставил и при работе в Тоннельной ассоциации России – его экспертные заключения и выполненные им работы по промышленной безопасности при сооружении подземных объектов всегда отличались глубокими инженерными знаниями, точностью оценки предстоящих рисков и заботой о людях, выполняющих тяжелую работу в подземных условиях.

Уважаемый Рудольф Изяевич! Правление Тоннельной ассоциации России поздравляет Вас со столь знаменательным юбилеем и желает Вам крепкого здоровья и долгих лет счастливой и полноценной жизни.

КОШЕЛЕВ – ЭТО ЗВУЧИТ ГОРДО!

Н. Н. Соловьева, главный редактор газеты «Метростроевец»



Его имя стоит в одном ряду с именами известных российских ученых и инженеров. Всю свою жизнь Юрий Анатольевич Кошелев – Герой Социалистического Труда, заслуженный строитель Узбекской ССР, почётный транспортный строитель – посвятил отечественному метростроению. Его труд отмечен двумя орденами Ленина, орденами «Знак Почёта», «За заслуги перед Отечеством» 4-й степени и многими медалями. Он – доктор технических наук, академик Академии транспорта, лауреат Государственной премии СССР. Имеет более 60 авторских свидетельств. 4 апреля 2017 г. Юрию Анатольевичу Кошелеву, руководителю Московского метростроя и Главтоннельметростроя прошлых лет, исполнилось 90 лет. Поздравляем заслуженного юбиляра!

«Талант – это поручение от Господа Бога», – говорил поэт Евгений Баратынский. Поручение – оставить след на этой вечной земле... И он, Юрий Анатольевич Кошелев, человек огромного таланта и трудолюбия, высокого интеллекта и мудрости, исключительного благородства и честности – свое предназначение выполнил сполна.

Он мечтал стать философом или историком. И стал бы! С интересом изучал философские труды Гегеля, исторические – Ключевского и Соловьева. Но в МГУ выпускнику-отличнику Рязанского железнодорожного техникума посоветовали идти в МИИТ, по профилю. Вот тогда и было положено начало его производственной профессиональной жизни, в которой Юрий Анатольевич достиг высшего пилотажа. «Я ни на минуту не пожалел о том, что техника, к которой тяготел не меньше, победила философию. И благодарен судьбе за то, что она сделала меня метростроевцем, поставила во главе та-

кой организации, как наша. Это огромная честь для меня», – говорил он в одном из своих интервью прошлых лет.

Жизнь не баловала его коврижками, да и сам он не искал легких путей. Пожалуй, наоборот. После окончания института, получив «красный диплом», который давал неплохие перспективы работы в столице, отправился на мыс Лазарева, на строительство тоннеля под проливом Невельского, где уже через несколько месяцев был назначен начальником участка. Руководил проходкой ствола диаметром 8,5 м и строительством дамбы. Здесь его и заметили первопроходцы метро Алексей Леонтьевич Яремчук и Иван Алексеевич Яцков, которым Юрий Анатольевич обязан приглашением на Московский метрострой.

Он начинал свой путь в Управлении Метростроя в производственном отделе, затем, будучи девять лет главным инженером СМУ-1 (ТО-6), руководил строительством станций «Фрунзенская», «Пролетарская», построенной

всего за девять месяцев, кессонного перегона под Москвой-рекой между станциями «Ленинские горы» и «Университет». С должности начальника СМУ-6, по рекомендации министра транспортного строительства Евгения Федоровича Кожевникова, Юрий Анатольевич был переведен в Главтоннельметрострой, где для него открылись новые горизонты – он занимался всей технической политикой подземного строительства СССР. Пять лет – главный инженер, десять – начальник. В годы его работы в главке число метрополитенов в стране увеличилось с шести до четырнадцати. При нем организовывалось и осуществлялось строительство тоннелей БАМа, в том числе и самого сложного в мире – Северомуйского.

Авторитет Кошелева в тоннельном мире был непрекращаем. С его мнением считались на самом высоком уровне. Вот что рассказал заместитель генерального директора СМУ-2 Метростроя и бывший главный инженер Тбилметростроя Григорий Петрович Бокучава:

Начальник Главтоннельметростроя Ю. А. Кошелев и главный инженер С. Н. Власов, конец 1970-х годов



В шахте СМУ-6





Герой Социалистического Труда Ю. А. Кошелев и министр транспортного строительства В. А. Брежнев



Тост – за Победу! Юрий Анатольевич и его супруга Бела Абрамовна на встрече ветеранов во Дворце культуры Метростроя 9 мая

– Мы соорудили автодорожный тоннель через Рикотский перевал, соединяющий восточную и западную часть Грузии. Работали в сложнейших, постоянно изменяющихся гидрогеологических условиях. Однажды в ночь случилась беда: при раскрытии калоттного профиля обрушился горный массив, повлекший гибель четырех человек. Уже на следующий день Юрий Анатольевич прилетел из Москвы... На заседании бюро ЦК компартии Грузии был подготовлен проект постановления, согласно которому начальнику Тбилметростроя грозило исключение из партии и привлечение к уголовной ответственности. Кошелев был единственным на заседании, кто выступил против такого скоропалительного решения, убедив первого секретаря ЦК компартии Эдуарда Амвросиевича Шеварднадзе серьезно разобраться с истинными причинами аварии, которые, как выяснилось позже, были напрямую связаны с произошедшим землетрясением. Благодаря Юрию Анатольевичу, лично занимавшемуся расследованием трагедии, была доказана невиновность не только руководителя Метростроя, но и многих инженерно-технических работников. Как героя его пронесли на руках по всему городу. Это было ровно сорок лет назад, в его пятидесятилетний юбилей, который он праздновал в Тбилиси.

И это не единственный случай, когда Юрий Анатольевич спасал людей, считая себя ответственным за их судьбы. В начале девяностых, будучи начальником Мосметростроя, он привлек к широкомасштабному строительству столичного метро коллег из бывших республик СССР. Но а когда объемы резко сократились... Помню, как на одном из профессиональных собраний кто-то предложил отказаться от услуг иногородних специалистов, что равнялось бы для нас, метростроителей из Грузии, катастрофе: помощь семьям и родственникам шла в страну, где было нестабильно и неспокойно, исключительно из Москвы. Юрий Анатольевич встал на защиту: «Я поступлю нечестно, если откажу сегодня тем, кто, откликнувшись на мой призыв, поддержал Метрострой в трудные дни». На долгие годы он продилил нашу профессиональную жизнь.

Московскому метрострою Юрий Анатольевич отдал в общей сложности сорок лет, из которых семнадцать стоял у руля. На его долю выпали и годы расцвета, когда в семидесятых Метрострой был отмечен орденом Октябрьской революции, и тяжелые девяностые, когда он боролся за единство коллектива: «Не мы создавали Метрострой, и не нам его разрушать», – звучал его голос со страниц нашей газеты. Он выполнил свою миссию – сохранил коллектив. И в этом, как считает он сам, его главная заслуга как руководителя и человека, которому по-настоящему был дорог Метрострой.

Звание Героя Социалистического Труда Юрий Анатольевич получил за вклад во внедрение новой техники на строительстве метро. Настоящий инженер – это изобретатель, творец. Кошелев – Творец с большой буквы. У него шестьдесят авторских свидетельств. Одно из них, взятое потом на вооружение зарубежными специалистами, касается уникального строительства тоннелей под каналом им. Москвы. Тогда, чтобы не приостанавливать судоходство, было принято решение по уложенным по дну реки и засыпанным песком трубам пустить хладоноситель, образовавший защитный экран из замороженного грунта. Работа была выполнена ювелирно.

В содружестве с учеными Метрогипротранса Кошелев разработал метод сооружения тоннелей из монолитно-прессованного бетона, за что ему было присвоено звание лауреата Государственной премии СССР. Но самое крупное достижение, к которому Юрий Анатольевич шел годы, это победа над кессоном. Совместные усилия инженера Кошелева и коллег из МГТ, которые разработали и впервые внедрили на перегоне «ВДНХ» – «Ботанический сад» метод проходки в обводненных неустойчивых грунтах с контурным замораживанием и принудительным водопонижением, позволили полностью исключить работу под сжатым воздухом, что наносило непоправимый вред здоровью строителей. Эту технологию работ также взяли на вооружение за границей.

Он всегда думал о людях. «Для чего нужен начальник? – рассуждал на встречах с журналистами редакции газеты «Метростроевец» Юрий Анатольевич. – А нужен он для того, чтобы к нему обращались за помощью. В любое время суток, даже ночью». И неизменно вспоминал Алексея Леонтьевича Яремчука, главного инженера на строительстве тоннеля на Сахалине, который никогда не забывал делать добро: «Проходку ствола закончили ночью. К утру смонтировали последнее кольцо. Поднимаемся с бригадой наверх, а в механическом цехе накрыт стол. В центре – Яремчук. Поздравляет, вручает мне ордер на комнату, что тогда считалось немислимым благом. Всю жизнь мне хочется в заботе о людях быть похожим на него», – не раз говорил Юрий Анатольевич.

А сколько ордеров на новые квартиры за свою жизнь вручил метростроевцам Юрий Анатольевич! Сколько людей благодарны ему за заботу, внимание и неравнодушие к их судьбам! Двери его кабинета всегда были открыты – для любого человека, независимо от должности. «Хочу, чтобы Метрострой был самой лучшей организацией в Москве. Чтобы нашим строителям жилось лучше всех, чтобы они всегда получали самую высокую зарплату и с удовольствием работали», – это было его кредо. И для этого он делал все возможное и невозможное – даже в самые тяжелые перестроечные годы.

Находясь на заслуженном отдыхе, Юрий Анатольевич ни на один день не расставался с мыслями о Метрострое: «Мое свободное время – продолжение моей рабочей биографии». На всех встречах и торжествах он всегда с коллективом. И его не забывают коллеги. В доме Кошелевых от души рады гостям. За столом, щедро накрытым Белой Абрамовной, супругой Юрия Анатольевича, часами идут разговоры о прошлом и настоящем коллектива. И неизменно Юрий Анатольевич, произнося тост за Метрострой, вспоминает тех, кто стоял у истоков создания нашей великой организации: «Метростроение – выдающееся дело, а метростроевцы – герои». Для Метростроя он ковал свои победы!



ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ЕЗМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД И КОНСТРУКЦИЙ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

VISUALIZATION OF NEMR DATA FOR MONITORING AND PREDICTION THE STATE OF ROCK MASSIFS AND STRUCTURES OF THE CAPITAL EXCAVATIONS

К. В. Романевич, к. т. н., Научно-исследовательский отдел ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

K. V. Romanevich, Ph. Dr., Science-research department JSC «Lenmetrogiprotrans»

В статье рассматриваются возможности применения метода регистрации ЕЗМИ (естественного электромагнитного излучения), оперативной обработки, визуализации и интерпретации полученных данных для решения задач контроля и прогнозирования состояния массивов горных пород и конструкций капитальных горных выработок. Приведены примеры визуализации данных лабораторных экспериментальных наблюдений электромагнитного излучения при разрушении образцов горных пород на прессе и натуральных данных регистрации ЕЗМИ в горных выработках.

The article discusses the possibilities of applying the method based on NEMR registration (natural electromagnetic radiation), operational processing, visualization and interpretation data for solving tasks of monitoring and prediction the state of rock massifs and structures of capital excavations. It gives some data visualization examples of laboratory experimental observations of electromagnetic radiation from destructing of the rocks samples and in-situ NEMR data visualization from excavations.

В ходе проведения специальных обследовательских и мониторинговых геофизических работ при строительстве и эксплуатации подземных сооружений различного назначения методом регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЗМИ или по-другому ЕИЭМПЗ) формируется уникальный тип данных, отражающих реальные вариации электромагнитного поля в месте регистрации – сигналы. В дальнейшем они преобразовываются в цифровую форму и подвергаются комплексной обработке, которая представляет собой совокупность математических методов, алгоритмов и технических приемов, таких как фильтрация, различные преобразования, выделение особенностей, разделение на уровни и т. д.

В качестве основных объектов изучения методом регистрации естественных импульсов электромагнитного поля выбраны горные выработки, в частности – транспортные тоннели и строящиеся выработки метрополитенов, так как фоновый уровень поля на поверхности над горной выработкой превышает фон в этой же выработке глубиной ~70 м в 5–30 раз и более (рис. 1).

Разумеется, слабый фоновый уровень электромагнитного излучения (ЭМИ) в

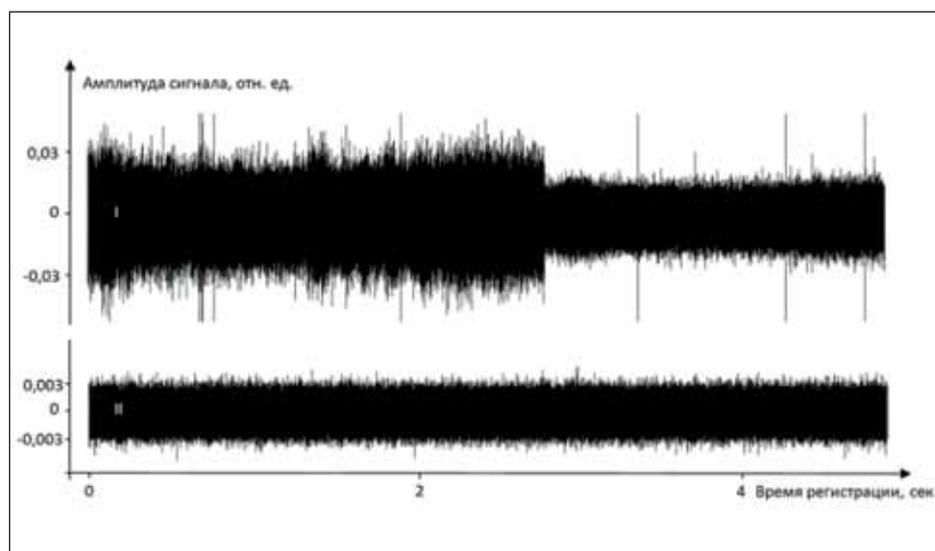


Рис. 1. Электромагнитный сигнал, зарегистрированный на поверхности над горной выработкой (I) и сигнал, зарегистрированный в этой горной выработке (h ~70 м) (II)

горной выработке возможен только при отсутствии работающих электроагрегатов, транспорта и других объектов и процессов, создающих возмущения электромагнитного поля. В «Указаниях по применению метода естественного электромагнитного излучения», разработанных ВНИМИ (1981 г.), определяются пути минимизации

помех при регистрации ЭМИ. В частности, регламентируется расстояние от места регистрации до работающих электрических машин и оборудования, ориентация датчика (антенны) относительно оси выработки, количество контрольных измерений и др. [1]. Необходимо также заметить, что в настоящее время промышленные помехи

могут быть успешно идентифицированы и учтены благодаря использованию современной аппаратуры и программным методам фильтрации данных результатов регистрации ЕЭМИ. В условиях низкого уровня или практически отсутствия естественных и промышленных помех при наблюдениях ЕЭМИ в горных выработках после обработки сигналов становится возможным выявление слабых электромагнитных импульсов с амплитудой на входе антенны 5–10 микровольт.

Одной из наиболее близких аналогий ЕЭМИ в массивах горных пород является прямой пьезоэлектрический эффект. Под прямым пьезоэлектрическим эффектом понимают [2] электрическую поляризацию определенных типов кристаллических веществ (диэлектрики и реже полупроводники) при механическом воздействии на них. В результате поляризации на соответствующих элементах их поверхности появляются электрические заряды. Под воздействием электрического поля в полупроводящей среде возникают токи проводимости и смещения, которые, согласно первому закону Максвелла, являются причиной появления магнитного поля Н:

$$\varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \gamma \vec{E} = \text{rot} \vec{H},$$

где γ – проводимость среды. Поэтому регистрация пьезоэффекта может производиться как путем измерения электрического (E), так и магнитного (H) полей.

При наличии пьезоэффекта в образце упругие колебания преобразовываются в электрические, а под действием деформации индуцируется электрический заряд. При разрушении горных пород, не содержащих в своем составе минералы-пьезоэлектрики, естественные импульсы электромагнитного поля могут быть зарегистрированы тем же способом, которым фиксируется электромагнитный импульс от разряда, образующегося при деформировании пьезопластины генератора пьезоэлектрических сигналов (рис. 2). Регистрируется магнитная составляющая электромагнитного поля, которая оказывается малоэффективной и не используется в пьезоэлектрическом и сейсмоэлектрическом методе [2].

На рис. 2 представлена запись электромагнитного сигнала, выполненная при помощи аппаратуры ЭМИ-3К в условиях повышенного уровня помех. Время регистрации – 5 секунд, в момент регистрации вблизи приемной антенны искусственно излучается пять пьезоэлектрических импульсов. Над фоном с примерно равными промежутками видно пять импульсов, которые превышают фон более чем в 4 раза по амплитуде.

Еще одной важной аналогией образования импульсов электромагнитного поля при нагружениях по тектоническим нарушениям и контактам блоков, а также при

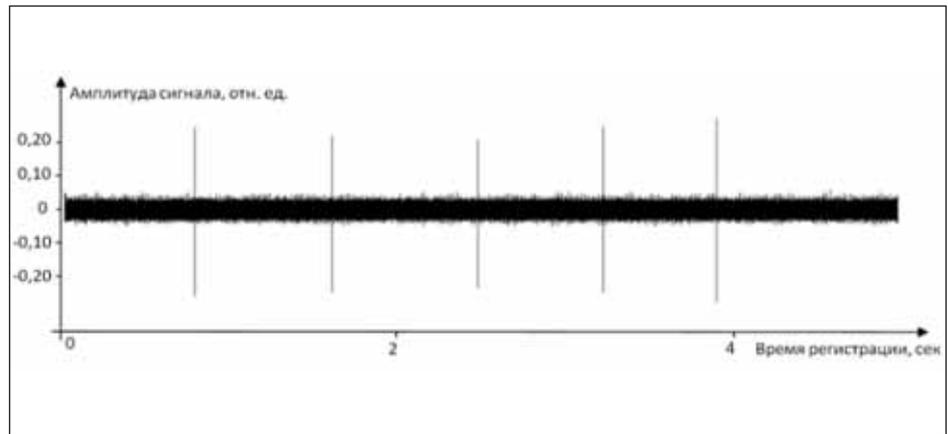


Рис. 2. Запись электромагнитного сигнала. Во время регистрации вблизи приемной антенны искусственно излучается пять пьезоэлектрических импульсов. Регистрация выполнялась в условиях повышенного уровня помех

динамических разрушениях массивов горных пород, вмещающих горные выработки, является возникновение фрикционных искр ударов и трения – раскаленных частиц или ионизированного газа электрической искры (световой диапазон ЭМИ).

Эффект образования фрикционных искр связан с зарождением частиц при соударении или трении твёрдых тел одно о другое, превращением части кинетической энергии механического взаимодействия в теплоту с последующим экзотермическим окислением и разогревом частиц. Дисперсность фрикционных частиц, их количество и энергетические параметры определяются скоростью приложения нагрузки и её величиной, а также физико-механическими свойствами материалов, взаимодействующих тел и поверхностных покрытий [3].

При регистрации ЕЭМИ в условиях проходки выработок горным способом (т. е. без применения механизированных проходческих щитов) фиксируется несколько типов импульсного излучения, которые, вероятно, связаны с разными видами и стадиями деформирования структурно-неоднородного массива горных пород [4]. Типы излучения различаются по количеству импульсов за фиксированный интервал времени, частотам, амплитуде, дли-

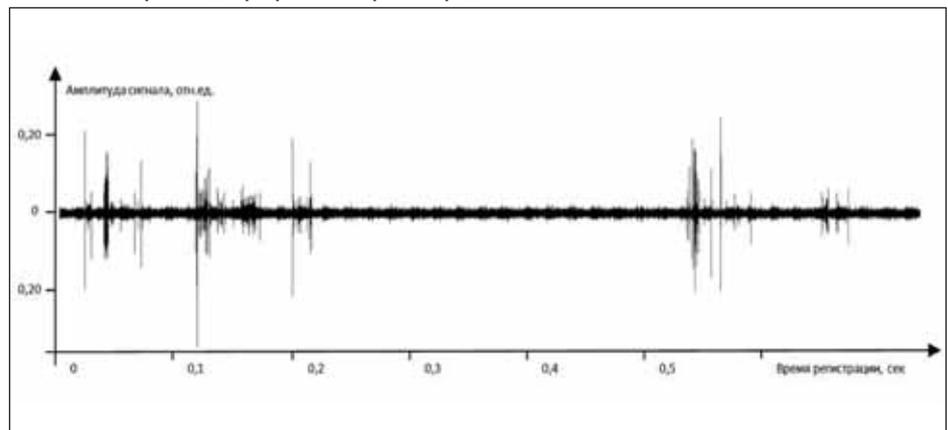
тельности и форме сигнала. Особенно ярко импульсы электромагнитного поля проявляются при осуществлении проходки на забоях горных выработок, так как механоэлектромагнитные преобразования в этих условиях происходят наиболее активно (рис. 3).

Также наиболее мощные импульсы электромагнитного излучения наблюдаются на участках горных выработок, где происходит резкое изменение напряженно-деформированного состояния в динамической форме: шелушение, стреляние, динамическое заколообразование, микроудары и горные удары.

Пример визуализации натуральных данных, полученных ВНИМИ (2017 г.) при регистрации в нестабильных горных выработках Таштагольского месторождения с помощью аппаратуры «Ангел-М» [5, 6], показан на рис. 4.

Аналогичные сигналы получены в ходе многочисленных лабораторных исследований [7–10 и др.] при нагружении на прессах различных материалов (гранит, мрамор, мел, стеклокерамика, стекло, металлы, лёд и проч.), причем характерные виды излучения получены для каждой из стадий напряженно-деформированного состояния, начиная от стадии упругого деформирования и заканчивая стадией разрушения образца.

Рис. 3. Запись электромагнитного сигнала в горной выработке. Во время регистрации вблизи приемной антенны происходит разработка горной породы в забое



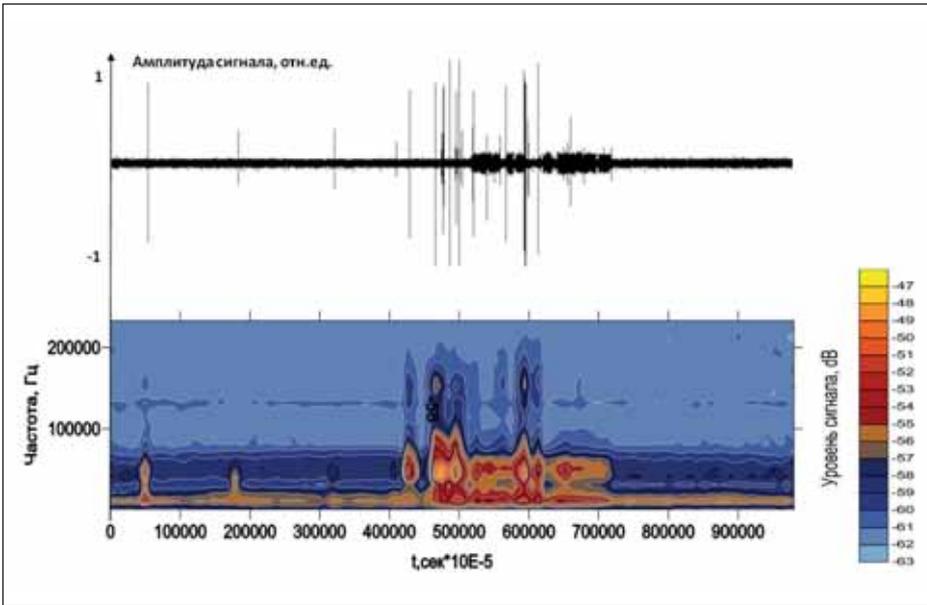


Рис. 4. Пример визуализации натуральных данных, полученных при регистрации ЭЭМИ в горных выработках Таштагольского месторождения (ВНИМИ 2017 г.)

В работе [10] в ходе лабораторных исследований показано, что чем больше горная порода склонна к хрупкому разрушению, тем больший уровень поверхностной плотности энергии регистрируется при образовании трещин. В [8] подробно рассмотрены спектрально-временные характеристики сигналов электромагнитного излучения при разрушении горных пород.

В настоящее время в Санкт-Петербурге наиболее обширные лабораторные исследования механоэлектромагнитных преобразований на разных типах горных пород и искусственных материалах проводятся во ВНИМИ, занимающем лидирующие позиции по разработке, созданию и внедрению методик и аппаратуры, предназначенных для оценки степени ударо- и выбороопасности локальных участков угольных пластов и рудных залежей [5, 6]. В ходе совместных лабораторных экспе-

риментов, целью которых являлась оценка возможности оперативной визуализации и интерпретации электромагнитных сигналов от разрушающихся образцов различных материалов, были получены данные, соответствующие теоретическим представлениям распространения электромагнитного импульсного излучения и данным предыдущих многочисленных испытаний на прессах.

Лабораторные эксперименты представляют собой регистрацию акустической и электромагнитной эмиссии на несколько видов датчиков в широком диапазоне частот в процессе разрушения образцов горных пород и искусственных материалов под действием внешних сил на нагружающих устройствах различного типа. Разрушение образца происходит после перехода за предел прочности нормальных и касательных напряжений, возникающих в

материале при его упругих деформациях – сжатии, растяжении, изгибе, сдвиге, в основном по ослабленным сечениям, имеющим дефекты, которые практически всегда присутствуют в горных породах [11]. Регистрация электромагнитного излучения производится на расстоянии 0,5–1,0 м от разрушаемого образца.

Результаты визуализации электромагнитного сигнала от мгновенного разрушения образцов высотой 3 см и диаметром 8 см двух типов горных пород представлены на рис. 5 и 6.

В первом случае (рис. 5) в момент разрушения хрупкого материала фиксируется превышение амплитуды сигнала на 30–40 дБ в полосе частот 1 ~ 25 кГц, после чего отмечается постепенное затухание ЭМИ по амплитуде, и снижение частоты излучения. Во втором случае (рис. 6) в момент разрушения пластичного материала также отмечается увеличение амплитуды электромагнитного сигнала на десятки децибел, но уже во всей частотной полосе приема. Различия в электромагнитном отклике разрушаемых горных пород в первую очередь связаны с разнородным вещественным составом образцов.

Параллельно лабораторным экспериментам по регистрации электромагнитного излучения от разрушаемых образцов горных пород проводятся натурные наблюдения ЭЭМИ в горных выработках, в том числе в режиме комплексного геотехнического мониторинга существующих и строящихся транспортных тоннелей. Среди них действующие и строящиеся автомобильные и железнодорожные тоннели линий Сочи – Красная Поляна и Туапсе – Adler, железнодорожные тоннели БАМа и Транссиба, объекты Московского и Санкт-Петербургского метрополитенов [4]. Специалистами научно-исследовательского отдела ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» организована автоматизированная

Рис. 5. Результат визуализации электромагнитного сигнала от разрушения хрупкого образца

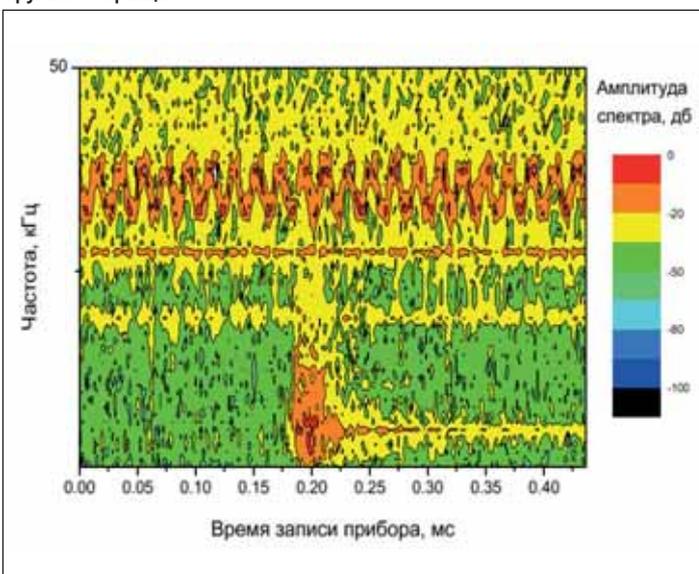
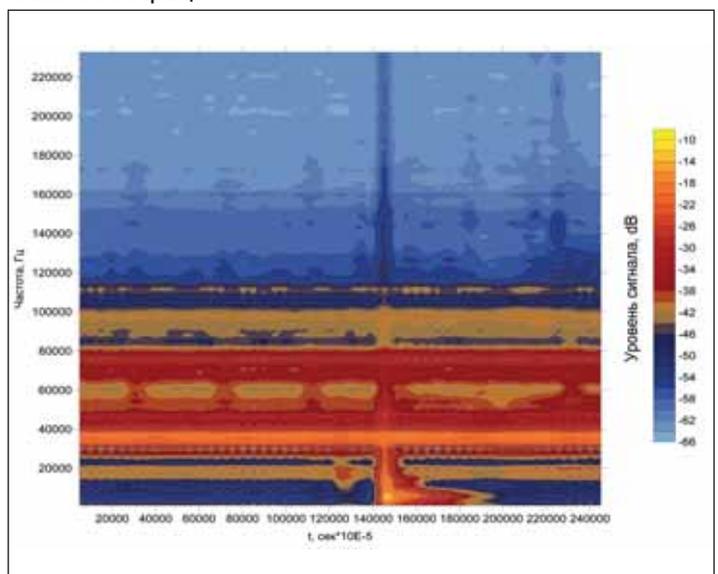


Рис. 6. Результат визуализации электромагнитного сигнала от разрушения пластичного образца



система синхронных наблюдений естественного электромагнитного излучения на распределенной сети наблюдательных станций, расположенных в автодорожных и железнодорожных тоннелях линии Адлер – Красная Поляна протяженностью около 50 км [12], непрерывная регистрация по этой системе ведется с ноября 2013 г. по настоящее время.

Пример визуализации двух циклов режимных измерений методом ЕЭМИ в горной выработке протяженностью около 7 км представлен на рис. 7. В центре исследуемого участка наблюдается аномальная зона (значение амплитуды спектра до 0 дБ), пространственно совпадающая с интервалом, в котором активно ведутся горнопроходческие работы. Перемещение аномальной зоны ЕЭМИ на втором цикле измерений, относительно первого цикла соответствует перемещению призабойной зоны смежной горной выработки.

Синхронные измерения электромагнитного излучения при нагружениях и разрушениях идентичных горных пород в лабораторных условиях на прессах и в натуральных условиях позволяют выбирать критерийные параметры регистрируемых сигналов, и, в соответствии с ними, разрабатывать и принимать категории опасности состояния вмещающих массивов для каждо-

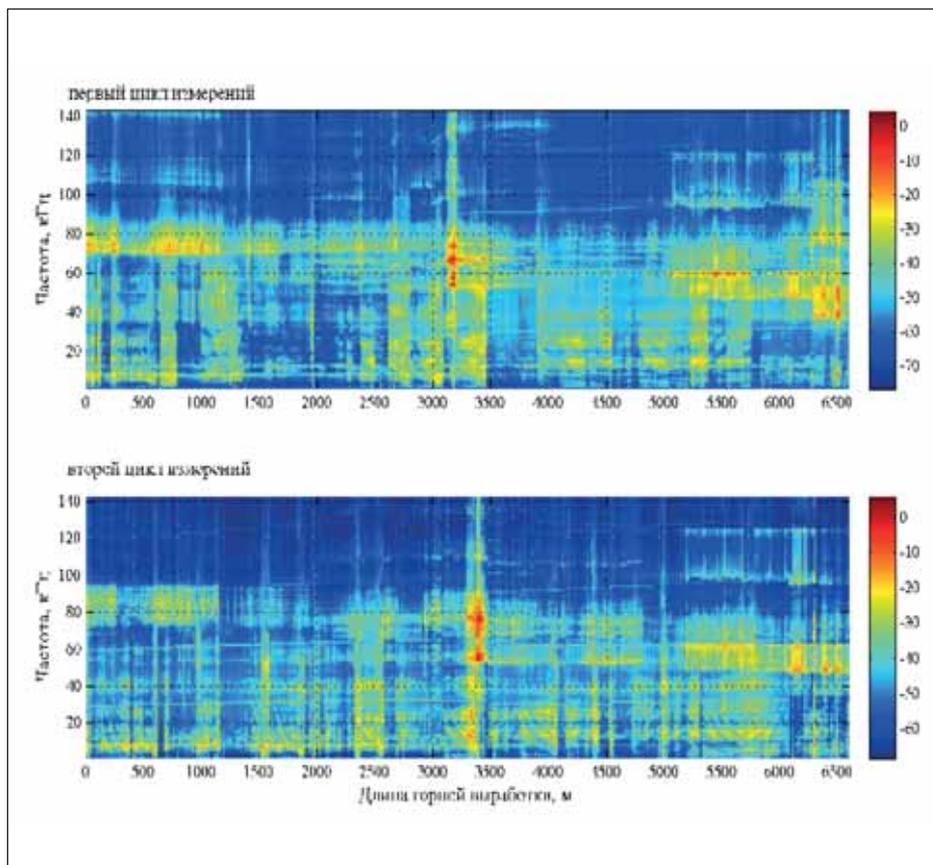
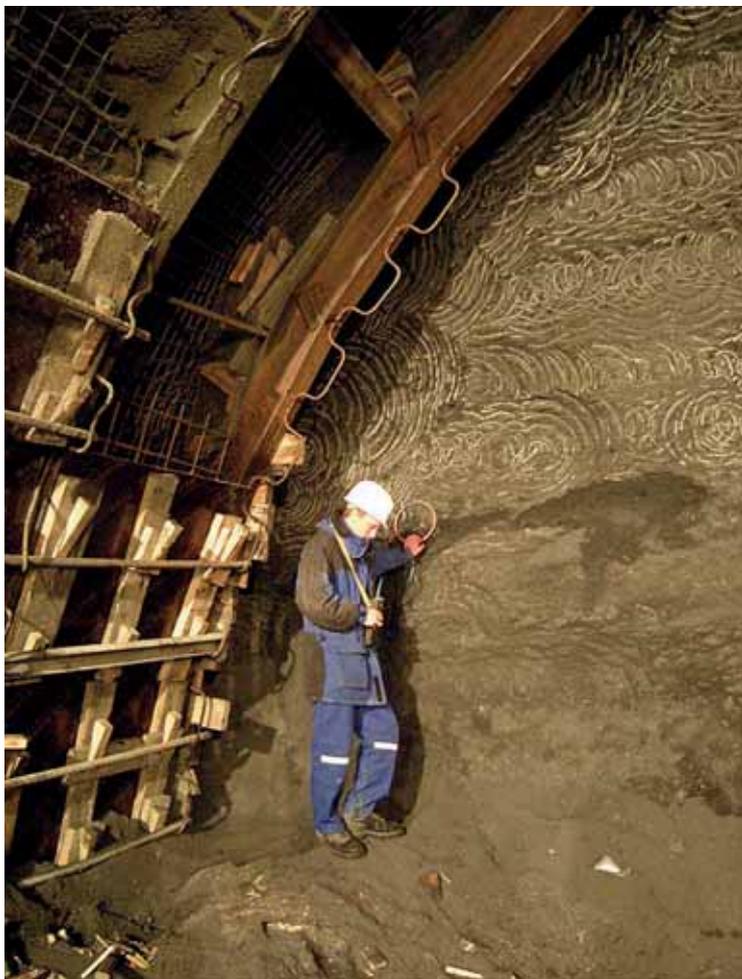


Рис. 7. Результат визуализации природных наблюдений в горной выработке

Сотрудники НИО института «Ленметрогипротранс» при регистрации ЕЭМИ в призабойных зонах строящихся тоннелей «Адлер – Красная Поляна» в 2009–2013 гг.





Экспериментальные работы с аппаратурой ЭМИ-ЗК (трехкомпонентная магнитная антенна) в строящихся тоннелях Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена, 2016 г.

го изучаемого объекта. Вместе с тем наблюдения ЕЭМИ в режиме мониторинга в строящихся и существующих горных выработках с учетом информации об электромагнитном отклике всех типов вмещающих пород при их испытаниях на прессах различного типа воздействия позволяют оперативно идентифицировать наиболее напряженные зоны в массиве и прогнозировать их возможные негативные проявления.

Кроме того, учитывая достаточно стабильные данные по регистрации электромагнитных импульсов при разрушении строительных материалов, а в частности бетонов, аналогичные критерии опасных деформаций и разрушений могут быть разработаны и для крупногабаритных строительных конструкций тоннелей и метрополитенов. Преимуществами метода ЕЭМИ является высокая чувствительность к дефектам структуры материалов, возможность обнаружения дефектов как на стадиях их зарождения, так и на всех этапах развития в процессе эксплуатации [9], а также высокая оперативность, как собственно измерений, так и интерпретации результатов.

В современных условиях, пользуясь достаточно мощной вычислительной техникой и специальным программным обеспечением, становится возможной оперативная обработка и наглядное представление больших объемов информации, а, следовательно, и практически мгновенный контроль изменения напряженно-деформированного состояния конструкций горных выработок и геодинамических явлений в окружающем массиве вмещающих пород. Учитывая «прогнозный характер» метода ЕЭМИ (фиксация нарастания напряженного состояния по увеличению уровня электромагнитных сигналов до образования макротрещин и собственно разрушения), эти данные могут быть ис-

пользованы для раннего информирования проектно-изыскательских, строительных и эксплуатационных служб об активизации опасных геомеханических процессов в массиве. Немаловажной отличительной чертой метода ЕЭМИ является его оперативность: геофизической съемкой покрываются большие пространства за небольшой промежуток времени, благодаря этому генерируется большой объем полезной информации об объекте. В процессе обработки данных возможна фокусировка на объектные критериальные параметры сигналов, которые могут находиться в узкой полосе частот, быть ограничены временным интервалом в первые десятки микросекунд или иметь другие отличительные особенности.

Выявление наиболее деформируемых областей во вмещающем массиве на ранних стадиях и контроль развития геомеханических процессов позволяет заблаговременно выполнить комплекс маркшейдерских, геомеханических и геофизических работ и перейти к принятию обоснованных инженерных мероприятий по защите конструкции горной выработки от разрушения.

Ключевые слова

Естественное электромагнитное излучение (ЕЭМИ), электромагнитный импульс, разрушение образцов горных пород, вмещающий массив, капитальная горная выработка, визуализация данных.

Natural electromagnetic radiation (NEMR), electromagnetic pulse, destruction of rocks samples, host rocks massif, capital excavation, data visualization.

Список литературы

1. Указания по бесконтактным геофизическим методам прогноза степени удароопас-

ности участков угольных пластов и рудных залежей. Л.: ВНИМИ. – 1981. – 37 с.

2. Скважинная и шахтная рудная геофизика: Справочник геофизика. В двух книгах/ Под редакцией В. В. Бродового. Книга вторая. – М.: Недра, 1988. – 440.: ил.

3. Бондарь В. А., Верёвкин В. Н., Гескин А. И. и др. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр. М., 1976.

4. Басов А. Д., Романевич К. В. Применение метода регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) для решения инженерно-геологических и геотехнических задач в тоннелестроении // Метро и тоннели. – 2016. – № 6. – С. 32–35.

5. Панин С. Ф., Мулев С. Н., Штирц В. А. Совершенствование технологии прогноза удароопасного состояния массива с использованием аппаратного комплекса ANGEL-M в условиях Таштагольского и Шерегешевского рудников // Сборник научных статей «Накопленные технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Международная научно-практическая конференция, Новокузнецк, 2014г.). – 2014. – С. 368–375.

6. Яковлев Д. В., Мулёв С. Н. Опыт применения многофункциональной геофизической аппаратуры АНГЕЛ-M в угольной и рудной промышленности // Уголь. – 2014. – № 10. – С. 14–19.

7. Babat D., Rabinovitch A., Frid V., 2005. *Tensile fracturing in rocks. Tectonofractographic and Electromagnetic Radiation Methods.* Springer, Heidelberg. 569 pp.

8. Курленя М. В., Вострецов А. Г., Кулаков Г. И., Яковичкая Г. Е. // «Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород». – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 232 с.

9. Фурса Т. В. / *Электромагнитная эмиссия строительных материалов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.07.* – Томск, 1998. – 167 с.

10. Вострецов А. Г., Кривецкий А. В., Бизяев А. А., Яковичкая Г. Е. / *Характеристики электромагнитного излучения горных пород при их разрушении в лабораторных экспериментах // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации.* – 2013. – № 2 (21). – С. 46–54.

11. *Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / Под ред. О. С. Богданова, А. Олевского, 2-е изд.* – М.: Недра, 1982. – 366 с.

12. Басов А. Д., Романевич К. В., Шляев С. А. *Автоматизированная система регистрации естественного электромагнитного излучения в транспортных тоннелях линии Сочи – Красная поляна // Геофизика-2015. X Международная научно-практическая конференция молодых специалистов. Тезисы докладов.* – СПб.: СПбГУ, Изд-во ВВМ, 2015. – С. 113–116.

Для связи с автором

Романевич Кирилл Викторович
kirillromanevich@gmail.com






NEW GROUND

С нами строить легко!



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО подземных частей технически сложных и уникальных объектов:

подземные автостоянки;
транспортные развязки;
гидротехнические сооружения

ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ

УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ на памятниках истории и архитектуры



ОАО «НЬЮ ГРАУНД»

г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35
тел/факс: (342) 236-90-70

info@new-ground.ru

ИЖЕВСК	.....	(3412) 56-62-11
КРАСНОДАР	.....	(861) 240-90-82
КРАСНОЯРСК	.....	(391) 208-17-15
КАЗАНЬ	.....	(843) 296-66-61
РОСТОВ-НА-ДОНУ	.....	(863) 311-36-36
МОСКВА	.....	(495) 643-78-54
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ	.....	(812) 923-48-15
ТЮМЕНЬ	.....	(3452) 74-49-75
УФА	.....	(917) 378-07-48
ЧЕЛЯБИНСК	.....	(351) 223-24-53

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МОСКВЫ

MAIN PROBLEMS, CHALLENGES AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE IN MOSCOW

В. Е. Меркин, д. т. н., НИЦ Тоннельной ассоциации

Д. С. Коныхов, к. т. н., АО «Мосинжпроект»

V. E. Merkin, Dr. of technical sciences, Science-research centre Tunneling Association

D. S. Konuhov, Candidate of technical sciences, LLC «Mosinzhprouekt»

Рассмотрены основные транспортные проблемы г. Москвы (Россия), даны пути их решения путем освоения подземного пространства. Описаны запланированные, построенные и строящиеся транспортные объекты г. Москвы.

The basic transportation problems, Moscow (Russia), given their solutions through the development of underground space. Describe planned, built and transport construction facilities of Moscow.

В последние годы существенно выросли темпы освоения подземного пространства крупных городов. В нашей стране это, в первую очередь, Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург и Казань. Возрастающие объемы подземного строительства в крупных городах в первую очередь вызвано дефицитом городских территорий. При этом, под землей размещают сооружения различного назначения: инженерные коммуникации, транспортные объекты, торговые и культурно-развлекательные комплексы, помещения общественного питания, коммунально-бытового обслуживания и связи, объекты складского хозяйства и промышленного назначения, помещения подземной части жилых зданий, защитные сооружения гражданской обороны, специальные сооружения и проч.

Москва – наиболее динамично развивающийся мегаполис в РФ. Одна из наиболее актуальных проблем города – проблема транспорта.

В настоящее время внешние транспортные связи Москвы обеспечиваются железнодорожным, водным, авиационным и автомобильным транспортом. В городе существует девять вокзалов, обеспечивающих грузо- и пассажироперевозки по 11-ти железнодорожным направлениям. Общий объем только пассажирских перевозок железнодорожным транспортом превышает 605 млн пасс. в год. Объем авиационных перевозок, осуществляемых четырьмя московскими аэропортами, составляет около 30 млн пасс. в год (около 30 % от общего объема авиaperевозок по России). Система водного транспорта в основном используется для перевозки грузов. В течение года через 3 грузовых порта и 23 грузовых причала проходит около 10 млн т грузов. Для обслуживания пассажиров используются

Таблица 1

Характеристика транспортной инфраструктуры г. Москвы на 2010 г.

Показатель	Значение
1. Транспорт личный	27 14,7 тыс. шт.
2. Транспорт общественный, в том числе:	
2.1. Автобусы:	10 499 шт.
маршрутная сеть	15 044,1 км
количество маршрутов	1 247
перевезено за год	1 882,9 млн пасс.
2.2. Троллейбусы:	1 601 шт.
маршрутная сеть	940,6 км
количество маршрутов	85
перевезено за год	465,5 млн пасс.
2.3. Трамваи:	917 шт.
маршрутная сеть	415,1 км
количество маршрутов	38
перевезено за год	276,0 млн пасс.
2.4. Московский метрополитен:	
протяженность эксплуатационного пассажирского пути в двухпутном исчислении	278,8 км
посадочные станции	172
ветки	13
перевезено за год	2 475,6 млн пасс.
3. Железная дорога	
Железнодорожные вокзалы	9
Общая протяженность железных дорог	782,1 км
Перевезено за год	605,6 млн пасс.
в том числе пригородных	574,5 млн чел.
Количество перевозимых грузов	97,7 млн т
4. Авиационный транспорт	
Аэропорты	4
Базирующихся авиакомпаний	109
Перевезено за год пассажиров	29,6 млн чел
Перевезено за год груза и почты	287,4 тыс. т

Таблица 2

Структура поездок в крупных городах мира (млн поездок в сутки)

Город	Метро	Наземный городской транспорт	Личный автомобиль	Железная дорога
Лондон	2,6	4,9	10,9	2
Москва	6,8	3,4	6	0,8
Нью-Йорк	4,5	2,1	13,1	0,5
Большой Токио	8,1	4,5	22	28
Париж	3,86	2,73	14,27	2,14
Сингапур		2,9	0,07	1,3

два речных вокзала. Автомобильным транспортом через 13 шоссежных автодорог перевозится около 6 млн пасс. и 10 млн т грузов [8].

Основные показатели транспортной инфраструктуры Москвы до начала комплексной реконструкции транспортной инфраструктуры города сведены в табл. 1.

Внутригородские пассажирские перевозки производятся различными видами общественного (метрополитен, автобус, троллейбус, трамвай) и индивидуального (такси, легковые автомобили различной принадлежности) транспорта и составляют около 17 млн пасс. в сутки, из них – около 11 млн пасс. перевозится общественным транспортом (табл. 2). Для сравнения транспортная система Токио ежедневно обслуживает около 62,6 млн пасс., из них около 40,6 млн пасс. приходится на общественный транспорт; Парижа – около 23 млн пасс, в том числе 8,73 млн пасс. – общественным транспортом; Лондона – около 20,4 млн пасс., из них около 9,5 млн пасс. доставляется общественным транспортом; Нью-Йорка – около 20,2 млн пасс., включая 7,1 млн пасс., перевозимых общественным транспортом; Сингапура – 4,27 млн пасс., в том числе 4,2 млн пасс. – общественным транспортом. Таким образом, после Токио, общественный транспорт Москвы – самый загруженный в мире.

Самым быстрым и комфортабельным видом массового пассажирского транспорта принято считать метрополитен. В Москве сеть метрополитена имеет радиально-кольцевую структуру, включающую в себя по данным на июнь 2012 г. 12 линий общей протяжённостью 305,5 км со 185-ю станциями. В среднем ежедневно услугами метрополитена пользовались около 7 млн пассажиров, а в будние дни – более 9 млн, что составляет 56 % от общего объёма пассажирских перевозок в Москве. Среднесуточный пассажиропоток составляет 32 194 человека на километр линии или 52 166 человек на станцию. Крупнейший в мире Нью-Йоркский метрополитен имеет 1 355 км эксплуатируемых линий, из них 1 056 км используются для пассажирского движения. В то же время ежедневный пассажиропоток составляет около 3 млн чел. [2].

Суммарный показатель обслуживания населения Московским метрополитеном на 2012 г. составлял 30,5 км на 100 тыс. жителей (с учётом сооружений МЖД, расположенных в черте города и используемых для городских перевозок – 52,6 км на 100 тыс. жителей) (рис. 1). По этому показателю Москва существенно отстаёт от других мировых столиц: суммарный показатель обслуживания населения городским скоростным внеуличным рельсовым транспортом на 100 тыс. жителей в Лондоне составляет 183,9 км, в Париже – 96,5 км, в Нью-Йорке – 84,8 км, в Токио – 76,2 км.

Одновременно с этим, численность населения, проживающего в периферийных

районах города и не обслуживаемого метрополитеном, достигала 1,9 млн человек, дефицит линий метрополитена составлял около 100 км. Условия перевозок пассажиров на метрополитене в наиболее напряженный период утреннего часа пик превышают нормативные условия в 1,3–1,7 раза. На наземных видах транспорта заполнение транспортных средств, осуществляющих перевозку из дальних районов города, не имеющих метрополитена, превышает норматив в 1,5–1,7 раза и не снижается в межпиковые периоды суток. Ряд транспортных узлов у периферийных

станций метрополитена к 2012 г. практически полностью исчерпали свою пропускную способность.

В 2012 г. было принято Постановление Правительства Москвы «Об утверждении Перечня объектов перспективного строительства Московского метрополитена в 2012–2020 гг.»[4], планирующее, что до 2020 г. город получит 154 км новых линий и 73 станции метро. Это позволит снизить нагрузку на действующую сеть метро, а также обеспечит «шаговую доступность» к станциям для 93 % населения Москвы.

Рис. 1. Сопоставление показателей обслуживания населения Московским метрополитеном с крупнейшими мировыми столицами

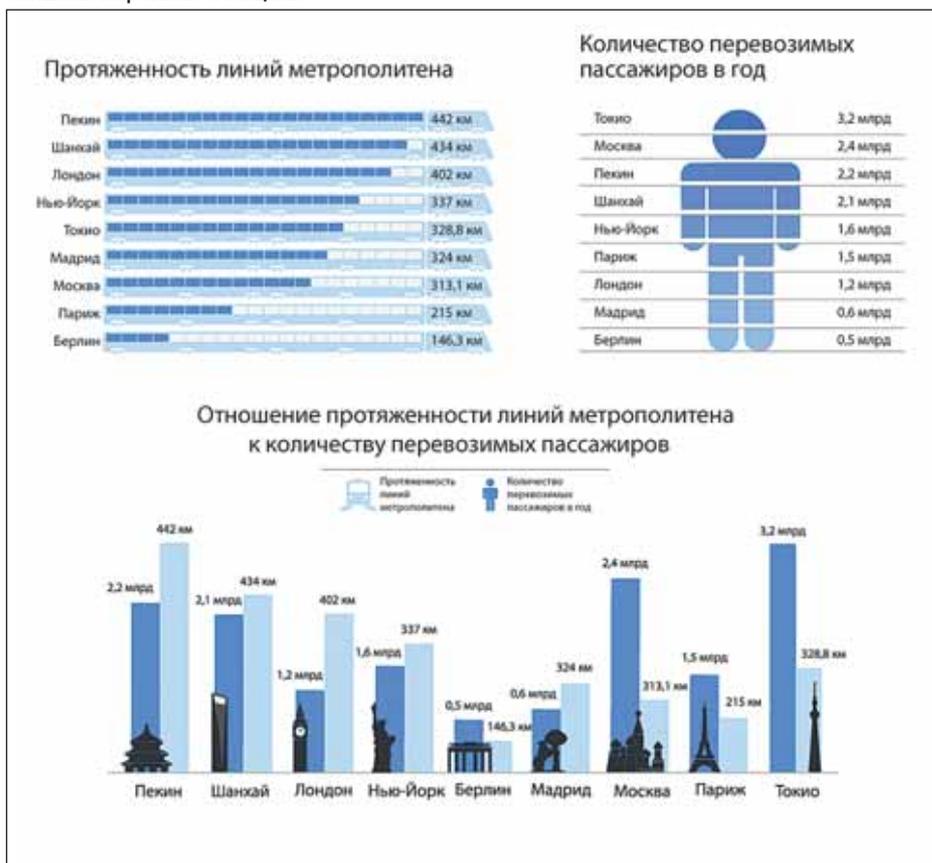




Рис. 2. Результаты реализации программы метростроения Москвы в 2012–2016 гг.

На настоящий момент в рамках этой программы построено (рис. 2):

- 2012 г. – 8,6 км линий и 3 станции;
- 2013 г. – 13,05 км линий и 6 станций;
- 2014 г. – 3,33 км линий и 2 станции;
- 2015 г. – 1,53 км линий и 2 станции;
- 2016 г. – 3,2 км линий и 2 станции.

Всего с 2012 г. введено в эксплуатацию около 30 км линий и 15 станций (рис. 3).

В феврале 2016 г. введена в эксплуатацию станция «Саларьево» – 200-я станция Мос-

ковского метрополитена (рис. 4). Строительные работы велись более чем на 300 строительных площадках на территории города. При этом было задействовано 29 тоннелепроходческих комплексов диаметром 6 м. В середине года планировался запуск ТПМК диаметром 10 м на строительстве Кожуховской линии метрополитена. В строительстве метрополитена принимало участие около 35 тыс. специалистов различного профиля.

Рис. 3. Строительство станции метро «Терешково»



Рис. 4. Открытие станции метро «Саларьево»



В 2016 г. планировалось ввести в эксплуатацию 26 км линий и 12 станций, включая первый участок Третьего пересадочного контура. Кроме того, в составе системы скоростного транспорта Москвы планировался запуск Малого кольца железной дороги (МКЖД), строительные работы на котором были выполнены более чем на 80 %. Всего на МКЖД будет организовано 17 пересадок на 11 линий метро и 10 пересадок на 9 радиальных направлений железной дороги. Это позволит Москве войти в число мировых лидеров по обеспеченности рельсовым транспортом.

В 2017 г. запланирован ввод 18,9 км линий и 10 станций, включая 5-километровый участок Калининско-Солнцевской линии, который пройдет через исторический центр города и будет включать в себя три станции: «Волхонка», «Плющиха», «Дорогомиловская».

В 2018 г. предполагается ввести 22,1 км линий и 12 станций.

В 2019 г. – 44,1 км линий и 17 станций.

В 2020 г. – 26,9 км линий и 14 станций.

В дальнейшем планируется строительство 5–6 радиальных линий:

- из района Южного порта в сторону района Бирюлево;
- в район Рублево-Архангельское;
- ответвление от Третьего пересадочного контура около станции метро «Улица Новаторов» до поселка Коммунарка;
- от тупиков за станцией «Рассказовка» вдоль Боровского шоссе к аэропорту Внуково.

Еще одной важной составляющей транспортной инфраструктуры Москвы, как и любого современного мегаполиса, является легковой автотранспорт. В настоящее время в городе по разным данным насчитывается от 2,7 до 3,3 млн легковых автомобилей. Кроме этого, из Московской и других соседних областей в город ежедневно прибывает порядка 500 тыс. автомобилей. Хотя по этому показателю Москва еще отстаёт от большинства мировых столиц (рис. 5, табл. 3).

Дефицит протяжённости улично-дорожной сети города в среднем оценивается в 250–300 км [6]. В целом по городу к 2007 г. 80 % магистралей исчерпали свою пропуск-

ную способность (в центральной части 90 %). При этом, по данным НИИПИ Генплана Москвы, требуемая плотность улично-дорожной сети 6,8 км/км² не может быть достигнута из-за дефицита городских земель. Поэтому порядка 150–200 км транспортных коммуникаций могут быть проложены только в подземном исполнении.

Анализ функционирования улично-дорожной сети Москвы, выполненный НИИПИ «Генплана Москвы» в 2007 г. позволяет сделать вывод том, что построенные автотранспортные тоннели составляют небольшую долю от потребности в них. Более 50 % транспортных пересечений работает в режиме перегрузки.

В Москве до 2012 г. построено более 350 подземных пешеходных переходов, в том числе более 100 – в пределах Третьего транспортного кольца. Размещение подземных пешеходных переходов на территории между Садовым и 3-м транспортными кольцами обеспечивает потребность в них на 60–65 %. В целом по городу, согласно данным НИИПИ «Генплана Москвы» на 2007 г., обеспеченность в подземных пешеходных переходах составляет 30–40 %. В то же время, дефицит подземных пешеходных переходов является причиной многочисленных ДТП с участием пешеходов, а также ведёт к перегрузке участков улично-дорожной сети и транспортных пересечений, росту затрат времени на передвижение, является одной из причин образования «пробок» на дорогах.

Сейчас в Москве ведётся строительство трех хордовых магистралей:

- Северо-Западная хорда (рис. 6) протяжённостью 26,6 км должна обеспечить связь между северо-восточными и юго-западными районами Москвы, минуя центр города. Магистраль пройдет от Сколковского шоссе по участкам нового строительства вдоль Малого кольца МЖД до выхода на Ярославское шоссе у Северянинского путепровода. В состав Северо-Западной хорды входит 10 тоннелей и 18 подземных пешеходных переходов (рис. 7);

- Северо-Восточная хорда (Северная рокада) соединит по периферии самые густона-

селенные районы юго-востока и севера Москвы (рис. 8). Ее начали строить как продолжение единственного уже возведенного участка 4-го транспортного кольца;

- Южная рокада (рис. 9) протяжённостью 6,5 км станет дублером МКАД и южного участка 3-го транспортного кольца, позволив перераспределить транспортные потоки и разгрузить Каширское, Варшавское шоссе и Пролетарский проспект. В состав рокады входит 600-м тоннель под Варшавским шоссе.

Следующая проблема транспортной инфраструктуры Москвы, тесно связанная с ростом автомобильного парка и загруженностью улично-дорожной сети, это хранение автотранспорта. Несмотря на то, что количество автомобилей, приходящееся на 1000 горожан в Москве, в 1,8–2,2 раза ниже, чем в других крупных европейских городах, обеспеченность протяжённостью улично-дорожной сети и машиноместами в 2–3 раза ниже. Обеспеченность машиноместами для постоянного хранения в целом по городу не превышает 47 %, дефицит парковочных мест – более 2 млн.

Проблема организованного хранения автотранспорта в периферийных районах города в основном решается за счёт строительства транспортно-пересадочных узлов. Например, в рамках строительства транспортно-пересадочного узла (ТПУ) «Николаевская» будут построены пассажирские платформы, многофункциональный торгово-развлекательный комплекс и многоуровневый гараж площадью 15,8 тыс. м². Кроме этого в торговом комплексе планируется соорудить парковку на 1000 машиномест.

Однако в центральной части города и на селитебных территориях проблема хранения автотранспорта в основном может быть решена только за счёт использования подземного пространства.

Таким образом, дефицит городской территории, перегруженность общественного транспорта и улич-

но-дорожной сети создают все необходимые предпосылки к дальнейшему размещению значительного числа объектов транспортной инфраструктуры Москвы в подземном пространстве.

Ключевые слова

Освоение подземного пространства, тоннель, метрополитен, транспорт.

Exploration of underground space, tunnel, subway, transportation.

Список литературы

- Бородин В.И. Перспективы освоения недр. – Зарубежные строительные технологии, № 6, 1991. – с. 23–33.
- Казаков Ю.Н., Рафальский Ю.Е. Новые зарубежные строительные технологии. *New building technologies in a broad.* – СПб: Издательство ДЕАН, 2007. – 176 с.
- Постановление правительства Москвы № 253-ПП от 01 апреля 2008 г. «О городской целевой программе строительства гаражей-стоянок в городе Москве на период 2008–2010 гг.».
- Постановление правительства Москвы от 4 мая 2012 г. N 194-ПП «Об утверждении Перечня объектов перспективного

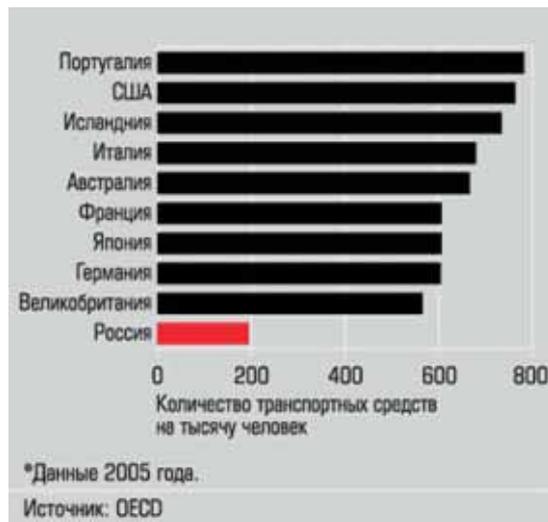


Рис. 5. Количество автомобилей на 1 тыс. чел. в развитых странах мира [7]

Таблица 3

Количество автомобилей на 1 тыс. чел в крупнейших городах мира [7]

Город	Численность населения, млн человек	Плотность улично-дорожной сети, км на кв. км	Количество транспортных средств, млн шт.	Доля регулярно использующих личный автотранспорт, %
Дели	15,3	19,2	4,8*	30,0
Центральный Токио	12,6	18,3	7,6*	38,0
Нью-Йорк	8,2	12,4	н. д.	56,3
Лондон	7,5	9,3	4,8*	40,0
Москва	10,5	5,0	3,3	18,0
Сингапур	4,4	5,0	0,4	н. д.

*63,7 % – мотоциклы и мотороллеры

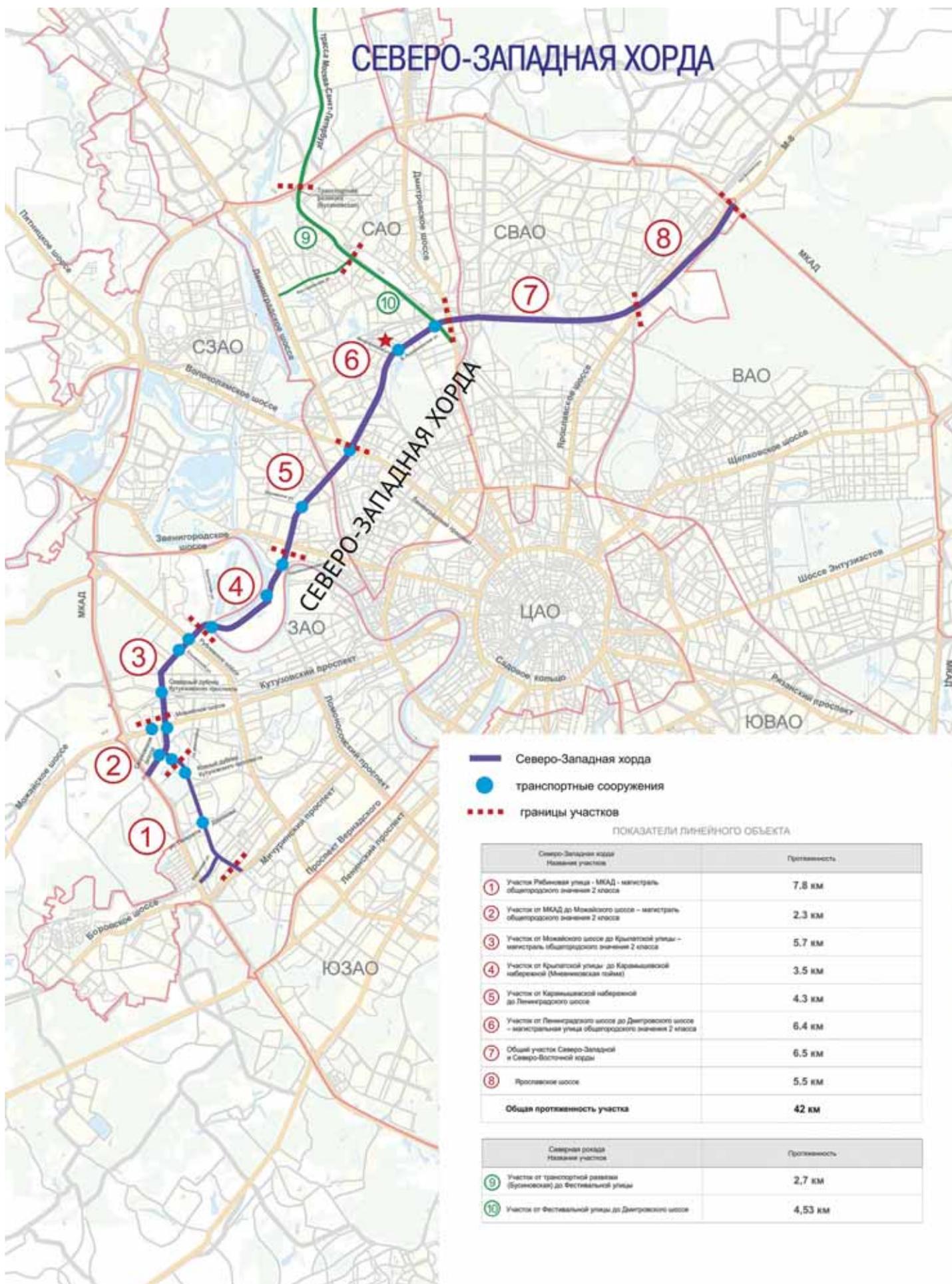


Рис. 6. Трасса Северо-Западной хорды



Рис. 7. Основные характеристики Алябяно-Балтийского тоннеля



Рис. 8. Северо-Восточная хорда



Рис. 9. Южная рокада

строительства Московского метрополитена в 2012–2020 гг. (с изменениями на 8 апреля 2015 г.)».

5. Руководство по составлению схем комплексного использования подземного пространства крупных и крупнейших городов. – М.: Стройиздат, 1978. – 75 с.

6. Среднесрочная программа освоения подземного пространства Москвы. Этап 1 «За-

ключение договора, уточнение технического задания на разработку среднесрочной Программы. Разработка первой редакции раздела 1. Направление на согласование предварительного перечня территорий подземного строительства». Информационный отчет. Титул № 18-06/598 – М.: ГУП НИИПИ Генплана Москвы, 2006. – 88 с.

7. Турулина А. Связать концы с концами. – Эксперт, № 46, 2007.

8. Умнов В. А., Харченко А. В. Проблемы развития городской подземной транспортной инфраструктуры. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 126 с.

Для связи с авторами

Меркин Валерий Евсеевич
nizta@inbox.ru
Конюхов Дмитрий Сергеевич
gidrotehnik@inbox.ru



О МЕТОДАХ ДИАГНОСТИКИ НЕОДНОРОДНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

THE METHODS OF THE HETEROGENEOUS ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS DIAGNOSTIC DURING SHIELD UNDERGROUND TUNNELING

Е. М. Пашкин, д. г.-м. н., проф., Российский государственный геолого-разведочный университет

С. В. Мазеин, д. т. н., исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России

E. M. Pashkin, Russian state geological prospecting University, Russia

S. V. Mazein, Executive management of Russian Tunneling Association

Приведено описание методов диагностики неоднородных инженерно-геологических условий применительно к щитовой проходке тоннелей в условиях г. Москвы. Измерения технологических показателей проходки позволяют использовать при прогнозном диагностировании таких адресных характеристик грунтового массива, как водопритоки, уровень грунтовых вод, тип грунта, его состояние и физико-механические свойства (плотность и удельное сцепление). Информацию разведочных скважин с поверхности могут дополнить геологические описания извлеченного грунта из щита, а соотношения выделенных при этом литологических разностей горизонтально залегающих грунтов можно использовать для определения границ между ними в плоскости забоя. При диагностике плотности грунта установлено, что объем извлекаемого песчаного грунта за цикл имеет значимую прямую связь с показателем его плотности в образцах. По измеренным показателям вращающего момента ротора можно диагностировать состояние грунтового массива в момент его взаимодействия с ротором, определяемого удельным сцеплением конгломератной смеси пород в забое.

An analysis of using modern methods of heterogeneous engineering-geological conditions diagnostic during shield underground tunneling. Measurement of technological indicators penetrations may use to diagnose address characteristics of ground array: groundwater flow and level, as well as the type of soil and its physical properties (density and specific cohesion). Excavation volume measurement to diagnose the actual situation of the underground water level and adjust modes of penetration for improving the sustainability of the face. Information exploration wells from the surface can complement the geological descriptions of excavated material from the shield, and the ratio of the allocated two lithological differences horizontal bedding can be used to define boundaries between them in the vertical face plane. To diagnose soil density determined that the amount recoverable sandy soil per cycle has a direct relationship with a significant measure of the density of sand samples. Also during the sinking of the measured torque indicators rotor can diagnose value of specific cohesion of conglomerate rocks in the mine.

Введение

Появление новых технологий в области тоннелестроения привело к предъявлению адекватных подходов и требований к использованию инженерно-геологической информации (в отношении ее оптимальности, адресности, избыточности) и совершенствованию технологических возможностей щитовых тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК).

В настоящее время выявлены некоторые показатели проходки, наиболее зависимые от условий взаимодействия с геологической средой: вес извлекаемого грунта, усилие прижима ротора к забою, вращающий момент ротора и т. д.

При этом исключены показатели, в получении которых нет никакой необходимости,

например, коэффициент фильтрации, поскольку герметичность рабочей части щита и пройденной части тоннеля исключает проникновение подземных вод в тоннель.

Специфика применяемой технологии сооружения тоннелей с использованием щитовых тоннелепроходческих механизированных комплексов существенно меняет отношение не только к качеству и количеству геологической информации о проходимом грунтовым массиве, но и к использованию новых методов диагностирования инженерно-геологических условий строительства тоннелей и притоннельных сооружений.

Проходка тоннелей метрополитена в Москве различного сечения осуществляется герметичными щитами с пригрузом забоя и набором универсальных режущих инструмен-

тов для проходки в песчаных, глинистых и скальных грунтах (рис. 1). Кроме того, современные щиты оснащены новейшими контрольно-измерительными устройствами, позволяющими определять показатели щитовой технологии, связанные с реакциями различных грунтовых массивов.

Однако такая информация обратных связей (влияния свойств массива на измеряемые параметры технологии) – безадресная и исследуется только эпизодически. Поэтому для постановки таких исследований на постоянную основу предлагается проанализировать возможности использования методов диагностирования неоднородных и сложных инженерно-геологических условий при щитовой проходке тоннелей, интенсивно строящихся в настоящее время для метрополитенов г. Москвы.

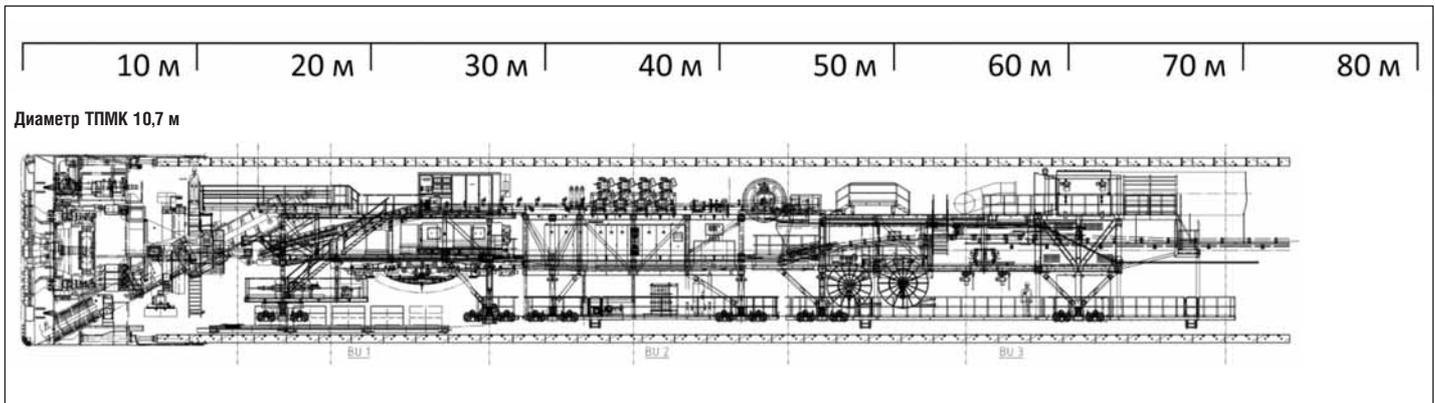


Рис. 1. Габариты ТПМК с грунтопригрузом

Диагностика выявления сложных инженерно-геологических условий при щитовой проходке тоннелей

Подземное пространство Москвы изучено достаточно полно не только количеством разведочных скважин, но и многими случаями нештатных ситуаций. Нештатные случаи раскрывали уязвимые места в геологическом пространстве с трудностями при проходке тоннелей:

- кремневые конкреции, образованные кварцем или халцедоном в известняках верхнего и среднего карбона в виде линз и прослоев, которые не позволили в 60-е годы прошлого столетия использовать в этих отложениях проходческие щиты;

- провалы в зонах развития палеокарста (перегонные тоннели на Театральной площади);
- обрушения и провалы пород в зонах пересечения обводненных техногенных грунтов, заполняющих доледниковые и доюрские долины реки Москвы (тоннель в районе фабрики «Красная роза» и на ул. Б. Дмитровка).

На тоннельную проходку также влияют локализация (местоположение) и масштабы:

- линейных и площадных кремневых стяжений,
- отдельных блуждающих (эвратических) валунов,
- эрозийных врезов,
- других, еще не выявленных осложнений.

Выявлению подобных «болевых» мест может помочь всестороннее изучение признаков и приуроченностей, характеризующих слабое звено в структуре изучаемой геологической среды города.

Для создания безопасных условий строительства и эксплуатации тоннелей метрополитена важны не только создающиеся условия быстрого реагирования по ликвидации аварийной ситуации современными техническими средствами, что само по себе важно, но еще важнее выявление локализаций и характера условий провоцирования аварийных ситуаций для их своевременного выявления и опережающего предупреждения. В этом безусловную помощь могут оказать методы диагностирования условий, формирующих нештатные ситуации, способные создавать аварийную обстановку в процессе производства работ. В таких случаях приоритетная роль должна принадлежать пре-

дупредительным и опережающим действиям, направленным против возникновения аварийных ситуаций.

Для решения этой задачи необходима разработка способов диагностирования видов и степени трудностей и опасностей по условиям взаимодействия используемой технологии сооружения тоннелей со сложностями геологической среды города.

Поскольку диагностирование входит в режим производственной деятельности, оно должно распространяться на область прогнозного фона, включающего разрабатываемую часть геологической среды (как объект прогнозирования) и условия, которые определяют наиболее сложные и опасные участки. Этот этап прогнозирования следует рассматривать как прогнозный диагноз.

На этом этапе осуществляется систематизированное описание прогнозного фона с целью выявления тенденций, осложняющих условия проходки, а также разработка диагностической подпрограммы для выявления характера и места опасных участков и для принятия решений по коррекции управления проходкой тоннеля. Современные методы диагностирования состояния массивов горных пород в отношении выделения и распознавания вида и степени осложнений и неоднородностей, обуславливающих трудности применения новейших технологий проходки тоннелей, к сожалению не разработаны. Делаются только первые шаги.

В перспективе необходим набор диагностических методов распознавания основных признаков, осложняющих сооружение тоннелей в Москве, и наиболее распространенных примет для диагностики «болевых» мест.

Одним из таких мест, представляющих прогнозный фон, служат плоскостные эрозийные долины, примыкающие к прадолине р. Москвы. Они представляют собой ложбины, выработанные механическим размыванием эродируемых карбонатных пород до горизонта прочных окварцованных известняков и площадных кремнистых стяжений, исключивших дальнейшее развитие процесса эрозии. По окончании эрозийного процесса, эти ложбины были заполнены элювиальными и техногенными накоплениями. Граничные условия между этими обводненными накоплениями и окварцованными из-

вестняками могут оказаться весьма сложными для применяемой технологии проходки тоннелей.

Об этом свидетельствует прогноз аварийной ситуации, которая может возникнуть на проектируемом перегонном тоннеле от станции «Кунцевская» на Западном участке Третьего пересадочного контура после пересечения долины р. Москвы [1].

Примеры использования прогнозных диагнозов

Рассмотрим, как измеренные технологические показатели проходки тоннелей возможно использовать в качестве прогнозного диагноза адресных характеристик грунтового массива: водопиток и уровень грунтовых вод, отмеченные в работах [2, 3], тип грунта и его физико-механические свойства (плотность и удельное сцепление), приведенные в работе [4].

Прогнозный диагноз притока воды по скорости повышения уровня суспензии в камере щита

При проектировании проходки тоннелей с применением ТПМК уже нет необходимости оценивать их фильтрационные свойства, поскольку отпала потребность, например, в определении водопиток в герметичные выработки, какими являются тоннели щитового способа возведения.

Однако при проходке вспомогательных притоннельных сооружений (подходные и соединительные выработки), сооружаемых горным способом, избежать ожидаемых водопиток не удастся. Поэтому в этом случае при выборе специальных методов проходки необходимо знать величину водопиток при раскрытии тоннелей и строительстве примыкающих к ним вспомогательных сооружений для выбора наиболее адекватного специального метода.

Так, для мест примыканий можно установить прогнозный диагноз водопитока, например, по скорости повышения уровня суспензии в забойной камере щита. Для этого щит требуется остановить в месте будущего примыкания с проектной выработкой, установить уровень суспензии в камере на уровне оси щита (наполнение $1/2$). Существует возможность подавать бентонитовую суспензию не только в камеру щита

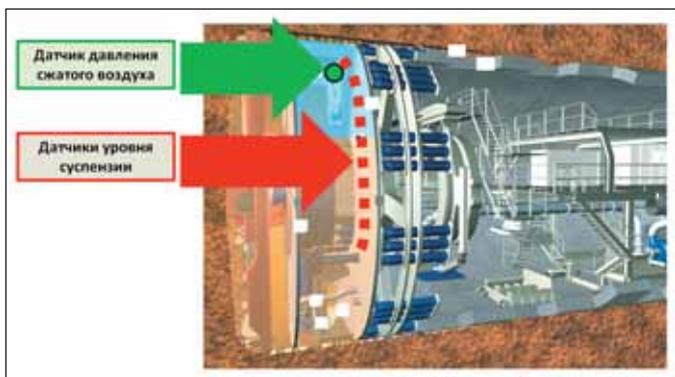


Рис. 2. Диагностика притока воды по скорости повышения уровня суспензии в камере щита

с гидропригрузом, но и щита с грунтопригрузом (рис. 2).

По датчикам уровня суспензии и хронометру возможно определить скорость наполнения камеры грунтовыми водами при различных давлениях воздуха в камере. Этот показатель водопритока, измеренный в конкретном месте и приведенный к условиям нормального атмосферного давления, можно использовать для выбора специальных методов проходки притоннельных сооружений вблизи места измерений.

Определение уровня грунтовых вод по весу извлекаемого грунта

Подробно метод определения положения уровня грунтовых вод (УГВ) по изменению объема и веса вынимаемого грунта был описан ранее [2].

Здесь главным условием является пересечение тоннелем уровня грунтовых вод, то есть переход от аэрированных грунтов к водонасыщенным пластам и наоборот. Такое пересечение в метростроении довольно часто случается при старте и финише щитов из сравнительно неглубоких открытых котлованов и заглуплении центральной части перегонных тоннелей.

Как показал мониторинг объема выемки, переход щита под УГВ сопровождается плавным повышением объема вынимаемого грунта с уменьшением воздушной его пористости во время подъема УГВ в тоннеле. Исследования пересечения УГВ в тоннеле (проект S-353) показали, что изменение показателя объема вынимаемого грунта V можно ис-

пользовать при уточнении положения УГВ, пересекемого строящейся выработкой, в геомеханическом расчете давления пригруза.

Для этого на участке протяженностью L строится зависимость $V(L)$, аппроксимированная полиномиальной функцией третьего порядка (рис. 3). В полученных экстремумах функции аргументами будут начало и конец пересечения

УГВ по горизонтальной проекции трассы тоннеля. Выражение справедливо не только для измеряемого объема грунта V , но и для определяемого за цикл веса $W = \gamma V$, кН (щит ЕРВ в проекте S-328-3) [3].

Измерение объема выемки позволяет диагностировать фактическое положение грунтовых вод и скорректировать режимы проходки для повышения устойчивости забоя.

Коррекция типа грунта, извлекаемого при проходке тоннеля

Зависимости между заложенными технологическими параметрами и параметрами свойств грунта по материалам разведочных скважин при проведении инженерно-геологических изысканий и фондовым материалам отличаются от фактических значений, поскольку взаимодействие щита с породой осуществляется по схеме объединения различных литологических разностей в своеобразную конгломератную смесь, и в зависимости от диаметра щита и от количества слоев и их мощности они разрабатываются одновременно, формируя отличную от заданных, структуру взаимодействия [5].

В связи с этим для установления этих зависимостей в процессе проходки ТПМК с конвейерного транспортера следует отбирать образцы конгломератной смеси для оценки ее свойств, формирующихся в процессе разработки различных грунтов в забое и определяющих область прогнозного фона.

Набор подобных зависимостей позволит после статистической обработки находить определенные комбинации сочетаний грунтов разного состава для уточнения инженер-

но-геологического разреза в сложных горно-геологических условиях, например, в зонах эрозионных врезов.

С одной стороны, при проектировании трассы ТПМК необходимо стремиться к рационализации объема изысканий, в активно используя архивные данные скважин в «спокойных» геологических условиях и более детально исследуя геологические аномалии во избежание аварийных ситуаций.

Частота бурения разведочных скважин при определении «спокойных» геологических условий тоннеля порой оказывается даже выше, чем при определении геологической аномалии – эрозионного вреза, однако вход щита в зону аномалии нарушает технологию проходки [4].

С другой стороны, информацию разведочных скважин с поверхности могут дополнить геологические описания извлеченного грунта, а соотношения выделенных при этом двух литологических разностей горизонтального залегания можно использовать для определения границ между ними в вертикальной плоскости забоя.

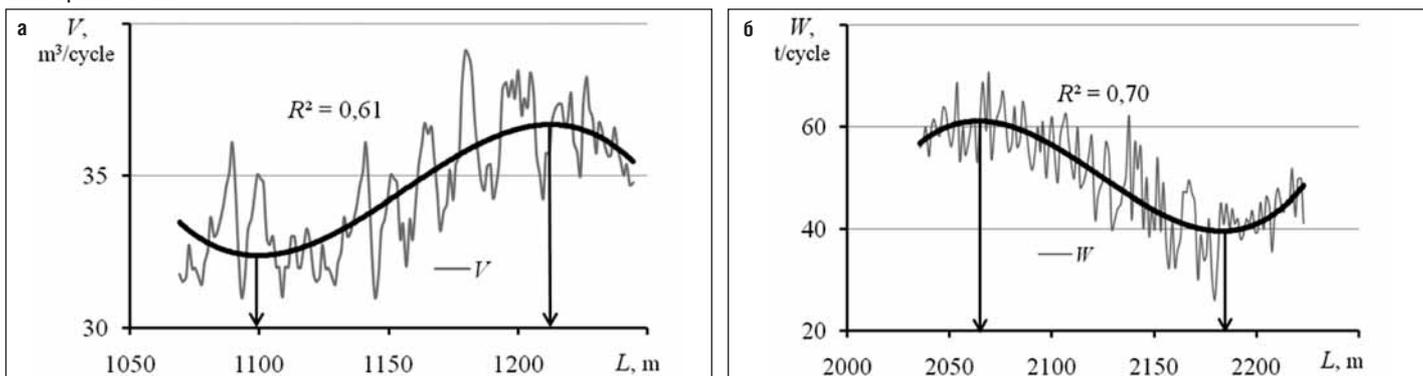
Выявление связи прогнозного фона с технологическими параметрами проходки тоннелей

О состоянии и свойствах грунта, извлекаемого при проходке, в значительной мере можно судить по значениям некоторых физико-механических характеристик, например, по его плотности. Значение этого показателя отражает степень обводненности грунтового массива и коррелирует с технологическими показателями объема или веса извлекаемого грунта за цикл проходки.

Например, установлено, что объем извлекаемого песчаного грунта за цикл имеет значимую прямую связь с плотностью песка в образцах. Данную зависимость иллюстрирует график на рис. 4, полученный при реализации проекта Серебряноборских тоннелей (а – диаметром 14,2 м, б – диаметром 6,3 м).

При проходке тех же тоннелей была установлена подобная зависимость вращающего момента ротора M от средневзвешенного удельного сцепления грунта в забое (рис. 5). Полученная во время проходки тоннеля информация по измеренным показателям вращающего момента ротора была использована при прогножном

Рис. 3. Зависимость объема (гидропригруз) и веса (грунтопригруз) вынимаемого за цикл грунта от расстояния проходки: а – щит МХ в проекте S-353; б – щит ЕРВ в проекте S-328-3



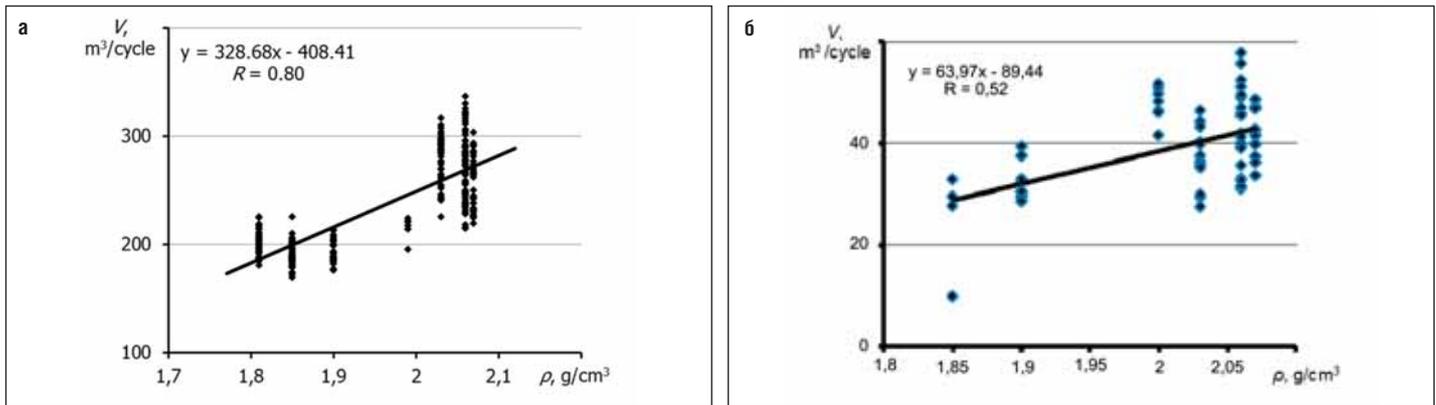


Рис. 4. Линейная зависимость извлекаемого объема V ($\text{м}^3/\text{цикл}$) деаэрированного песка от средневзвешенной плотности ρ ($\text{г}/\text{см}^3$) образцов грунта: а – щит MIX в проекте S-250-2; б – щит MIX в проекте S-290

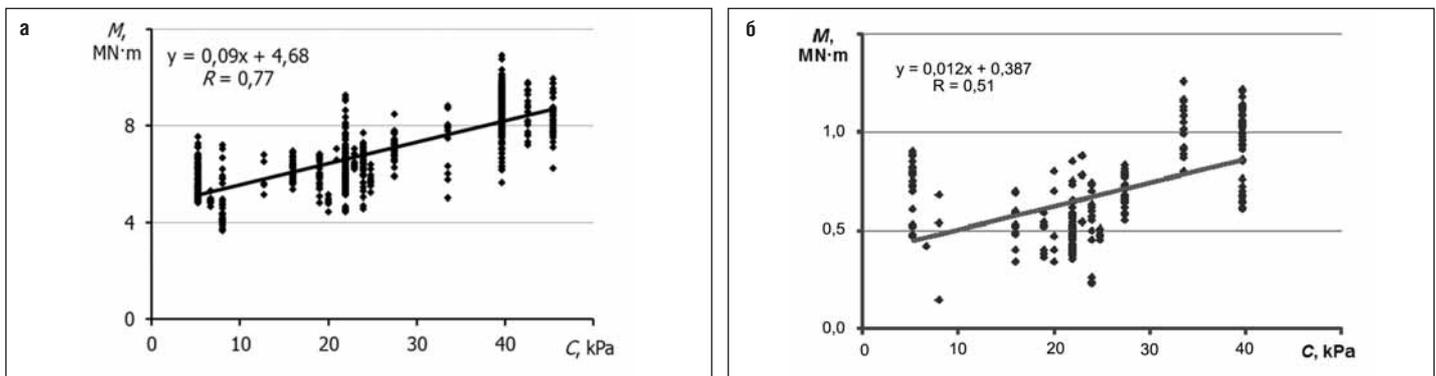


Рис. 5. Линейная зависимость вращающего момента M (МНм) ротора от средневзвешенного значения удельного сцепления C (кПа) грунта: а – щит MIX в проекте S-250-2; б – щит MIX в проекте S-290

диагностировании значения удельного сцепления грунтового конгломерата в забое.

На некоторых современных щитах привод ротора дополнительно снабжен гидроцилиндрами горизонтального перемещения с возможностью измерений хода штока и давления в гидравлике. Тогда по измеряемому усилию прижима ротора есть возможность определять усилие отпора неустойчивого грунтового массива, а также характер его напряженно-деформированного состояния, и соответственно назначать давление активного пригруза в забойной камере щита [6].

Заключение

Инженерно-геологические условия строительства тоннелей в г. Москве сложны не только неоднородностью горных пород и их структурой, но и главное – тем, что условия взаимодействия технологии ТПМК с этими неоднородностями оказывают негативное влияние на темпы проходки тоннелей.

Становится актуальным использование новых методов диагностирования инженерно-геологических условий строительства тоннелей и притоннельных сооружений. Такая диагностика может проводиться контрольно-измерительными устройствами ТПМК, позволяющими определять показатели щитовой технологии, связанные с реакциями различных грунтовых массивов.

По итогам работы можно сделать следующие выводы.

1. Уточнена структура объекта прогнозирования условий проходки с выделением

сложных и опасных участков, которые рассматриваются как прогнозный диагноз, задачей которого является составление диагностической подпрограммы для выявления опасных участков и принятие решений по коррекции управления проходкой.

2. Показано, как технологические показатели используются в качестве прогнозного диагноза состояния грунтового массива в отношении его водообильности, положения уровня грунтовых вод, состава грунта конгломератной смеси и его плотности.

3. Использование методов диагностики неоднородных инженерно-геологических условий при щитовой проходке позволит повысить эффективность проектирования строительства тоннелей при постоянном пополнении информации в процессе технологического и геологического мониторинга.

Ключевые слова

Щитовая проходка тоннеля, прогнозный диагноз, уровень грунтовых вод (УГВ), извлекаемый грунт, технологические параметры.

Shield tunneling, predictive diagnosis, ground water level (GWL), extractable soil, process parameters.

Список литературы

1. Мазеин С. В., Лехт В. В., Прудников А. Д. Анализ инженерно-геологических условий при выборе профиля перегонного тоннеля для повышения безопасности и технико-экономических характеристик строительства // *Метро и тоннели*. – 2015. – № 6. – С. 22–26.

2. Мазеин С. В., Потанов М. А. Мониторинг грунтового давления и объема выемки обводненного массива для безопасной проходки щитом // *Безопасность труда в промышленности*. – 2012. – № 11. – С. 58–63.

3. Mazine S. V., Voznesensky A. S. TBM-monitoring of soil pressure and watered extractable volume // *6th International Symposium on Tunnels and Underground Structures in SEE 2016 «Urban Underground Structures in Karst»* / Editor Davorin Kolic. – March 16–18, 2016. – Radisson Blu Resort, Split, Croatia.

4. Pasbkin E. M., Mazine S. V., Ryabov E. B. Optimization of geological researches for subway planning in Moscow // *SEE Tunnel – Promoting Tunneling in SEE Region. Proceedings of the ITA-AITES World Tunnel Congress 2015* / Editor Davorin Kolic. 22–28 May, 2015. – Dubrovnik, Croatia. – P. 692–693. ISBN 978-953-55728-5-5.

5. Пашкин Е. М., Мазеин С. В., Рябов Е. Б. Разработка технологической утилизации инженерно-геологических условий строительства метрополитена в Москве // *Метро и тоннели*. – 2015. – № 5. – С. 13–15.

6. Мазеин С. В. Использование характеристик прижима ротора для контроля запаса суспензионного пригруза при тоннельной щитовой проходке // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2010. – № 3. – С. 2–8.

Для связи с авторами

Пашкин Евгений Меркурьевич
empashkin@yandex.ru
Мазеин Сергей Валерьевич
maz-bubn@mail.ru

ИННОВАЦИИ МОНИТОРИНГА ПРОХОДКИ ЕРВ ТБМ БЕЗ ОСАДОК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

INNOVATIVE MONITORING OF THE EPB SHIELDS WITHOUT UPSETTING THE EARTH'S SURFACE

Б. И. Федунец, д. т. н., проф., Тоннельная ассоциация России
М. А. Потапов, АО «Трансинжстрой»

B. I. Fedunets, Russian Tunneling Association
M. A. Potapov, Transinzhstroy

Направления совершенствования конструкции ЕРВ щита и проектных решений при строительстве тоннеля с минимальной осадкой земной поверхности должны дополняться мониторингом щитовой технологии. Предложенные решения по мониторингу щитовой технологии позволят существенно снизить осадки земной поверхности над ЕРВ-щитами.

Areas for improvement in the construction of EPB shield and design solutions in the construction of tunnel with a minimum upsetting of the Earth's surface must be complemented by monitoring of shield technology. The proposed solutions for the monitoring of shield technology will significantly reduce upsetting of the Earth's surface over EPB shield.

Многими исследованиями отмечается эффективная работа технологии гидропригруза тоннельной буровой машины (ТБМ) в водонасыщенных грунтах [1], противодействующая осадке земной поверхности над тоннелем.

Для инженерно-геологических условий строительства Московского метрополитена исторически сложилось явное преимущество в численности грунтопригрузных щитов (Earth Pressure Balance (EPB) щиты), использующих пригруз забойного массива пластифицированным грунтом.

ЕРВ щиты используют нагнетание инъекционного раствора для заполнения строительного зазора за тоннельной обделкой [2], однако им гораздо сложнее обеспечить стабильность забоя при проходке, а тем более при остановке щита на монтаж обделки и на проведение других регламентных работ.

Для того чтобы минимизировать и приблизить показатели осадки земной поверхности над ЕРВ щитом к соответствующим показателям над гидропригрузным щитом, необходимо выполнить ряд мероприятий на стадии мониторинга технологии проходки.

Эти решения дополняют широко распространенный мониторинг объема выемки грунта [3], на основе которого производятся расчеты вызываемой им осадки земной поверхности.

В таблице приведены восемь основных предлагаемых направлений технологического мониторинга, которые связаны с соответствующими конструктивными и проектными разработками щитового метода строительства тоннеля.

Рекомендованные технологические решения содержат комплекс управляющих воз-

действий на щитовую технологию с грунтопригрузом, исходя из мониторинга показателей проходки.

Отмеченные ранее [4] направления первоначального совершенствования конструкции ЕРВ щита и проектных решений при строительстве тоннеля с минимальной осадкой земной поверхности должны дополняться мониторингом щитовой технологии.

Мониторинг должен в себя включать следующие виды контроля:

- износ режущего инструмента;
- обеспечение объема и давления пригруза;
- замещение сред пригруза;
- давление кессонным оборудованием;
- давление и целостность штатных уплотнений щита;
- герметичность и пропускная способность шнека;
- расход разных типов добавок-кондиционеров;
- давление и объем нагнетания раствора за обделку.

Износ режущего инструмента

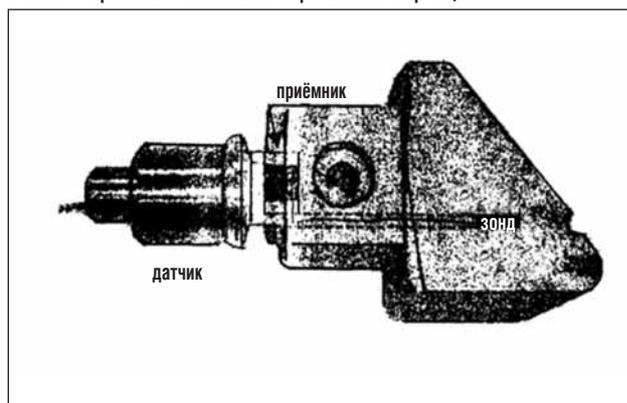
В работе [5] было отмечено, что деформацию земной поверхности и городской застройки вызывают продолжительные остановки ТБМ. При работе щита с грунтопригрузом его длительные остановки связаны с необходимостью замены режущего инструмента, число которых для минимизации осадки земной поверхности необходимо сократить и упорядочить.

Во время проходки следует регулярно, по мере износа, заменять вышедший из строя режущий инструмент. На участках неустойчивых грунтов необходимо применять кессонные работы (под сжатым воздухом) при остановках ЕРВ-щита для осмотра/замены резцов и шарошек.

Кессонные работы в рабочей камере щита следует производить с тщательно подготовкой и строгим регламентом управления давлением сжатого воздуха.

Чтобы уменьшить количество и продолжительность простоев щита для осмотра/замены резцов и шарошек, рекомендуется дополнительно отслеживать состояние режущего инструмента по установленным датчикам дистанционного контроля износа. Возможности для этого есть. В работе [6] описано, как в тело держателя инструмента встраивается электронный датчик, который путем индуктивной передачи с резцов распознает нарушение границы допустимого износа (рис. 1).

Рис. 1. Устройство системы контроля износа резцов



Таблица

Мероприятия по минимизации осадки над грунтопригрузным щитом

Выбор конструкции щита	Проектирование проходки	Мониторинг технологии
Уменьшение разности диаметров резания и щита (укороченные ковши/шарошки и их качество, буртики на своде внешней оболочки щита), дистанционный контроль износа резцов	Предварительный график замены режущего инструмента по трассе тоннеля, исходя из абразивности грунта	Максимальное сокращение возможных простоев щита за счет дистанционного контроля износа резцов и упорядоченной процедуры осмотра и замены резцов специальной кессонной службой
Датчики давления среды пригруза, рассредоточенные по высоте забоя	Максимальная глубина заложения свода тоннеля с учетом сопротивлений продвижению щита и давления пригруза	Обеспечение объема и давления заполнения забойной камеры средами пригруза (пластифицированный грунт, бентонит и сжатый воздух)
Оборудование для заправки бентонита или сжатого воздуха в забойную камеру	Включение процедуры замещения грунта бентонитом или сжатым воздухом, а также порядка проведения кессонных работ в технологический регламент проходки	Контроль объема заправки бентонита или сжатого воздуха в забойную камеру при замещении грунта этими средами специальной кессонной службой
Шлюз и оборудование для кессонных работ	Определение участков упрочнения и прочных грунтов для остановок щита на кессонные работы	Контроль давления среды пригруза в режимах проходки/остановки и давления сжатого воздуха при остановке
Штатные уплотнения привода ротора и хвостовика щита	Включение в затраты на санацию и комплектацию ТПМК восстановление штатных уплотнений щита (рабочих и аварийных), а также закупки штатных уплотнителей	Визуальный контроль целостности уплотнений щита, мониторинг давления уплотнительных сред и перекосов щита и ротора
Шнековый транспортер с выпускной задвижкой, без центрального вала (для больших кусков грунта) и с минимумом зазора между ребордой и внутренней поверхностью трубы, оснащение датчиками давления и подачей кондиционеров	Включение в затраты на санацию ТБМ: • восстановление реборды шнека, герметичности выпускной задвижки; • установки датчиков давления в передней и задней части шнека; • установки форсунок подачи добавок-кондиционеров в шнек	Контроль закрытия выпускной задвижки на шнековом транспортере при простое щита; контроль расхода кондиционеров; мониторинг давления в передней и задней части шнека
Оборудование для варьируемой одновременной подачи двух видов кондиционеров грунта	Включение в затраты: • закупки добавок-кондиционеров для разных типов грунта соответственно грунтам проходки, • оснащения дополнительной линией подачи добавок	Контроль типа грунта и расхода добавок-кондиционеров для каждого типа грунта
Оборудование непрерывного нагнетания за обделку (каналы в хвостовике щита)	Выбор состава раствора, не схватывающегося в каналах нагнетания; проектирование преимущественно положительных уклонов тоннеля при проходке (на подъем)	Контроль давления инъекционного раствора и объема заполнения им пространства за обделкой

Существуют также новейшие разработки по оптимизации затрат, связанных с износом режущего инструмента:

- контроль вращения и температуры дисковых шарошек;
- датчики отслеживания глубины дорожек резания шарошками (рис. 2а);
- датчики износа на поверхности ротора (рис. 2б).

Контроль состояния резцов отслеживанием повышения вращающего момента режущей головки дает только общую и безадресную картину их состояния.

Дистанционный контроль работы режущего инструмента позволяет определить дефекты конкретных резцов и шарошек и минимизировать продолжительность обслуживающих их рабочих смен, а также продолжительность и величину вызванной осадки земной поверхности.

Обеспечение давления пригруза

Во избежание смещений грунтового массива в забойную камеру необходимо контролировать объем заполнения камеры средами пригруза по поведению давления



Рис. 2. Датчик износа шарошек (а) и поверхности ротора (б)

на разной высоте, особенно в верхней части забоя.

Давление пеногрунта P_c достаточно сложно обеспечить по всей высоте забоя из-за влияния гравитационных сил, под действием которых куски грунта стремятся к ниж-

ней части забоя, а пузырьки подаваемой пены с давлением P_i – к верхней.

Для противодействия осадке земной поверхности среда пригруза должна быть достаточно пластичной и максимально заполнять камеру экскавации. Сдвигание верти-

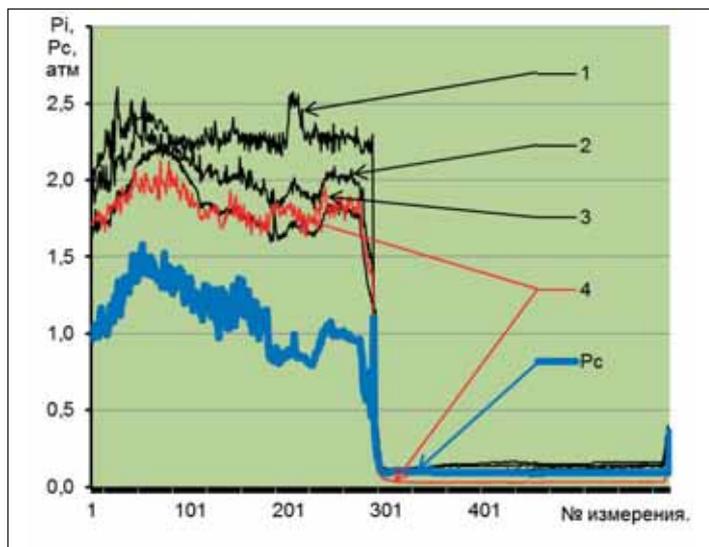


Рис. 3. Давление пены в i-каналах (P_i) и усредненное давление грунта в камере (P_c), $P_i = 1.5...2P_c$, верх забоя: $P_4 < P_c$ во время остановки щита

кального обнажения грунтового массива в камеру начинается в верхней части, где преимущественно расположена среда сжимаемого воздуха. Полученные по результатам мониторинга графики показывают необходимое создаваемое превышение в 1,5–2 раза давления закачки пены в каналах над средним давлением пригруза при проходке и быстрый спад всех давлений после остановки щита, особенно давления в канале № 4 (верхнем) (рис. 3).

Мелкие пузырьки пены являются более влажными и устойчивыми для равномерного заполнения камеры экскавации. Для создания равномерной плотности пеногрунта следует применять холостое вращение ротора с перемешиванием в камере перед остановкой проходки.

Для поддержания давления во время остановки проходки целесообразно применять дополнительное нагнетание пены или сжатого воздуха преимущественно в нижнюю часть камеры.

Для контроля соотношения «пена/грунт» необходимо учитывать коэффициент разрыхления грунта и сжатие пены под давлением в камере.

Контроль максимального заполнения камеры экскавации препятствует развитию осадки земной поверхности перед щитом и над щитом.

Закачка бентонита или сжатого воздуха

Строительному подрядчику необходимо иметь специальную кессонную службу, которая кроме ремонтных работ в кессоне занималась бы и контролем давления/объема подачи бентонита или сжатого воздуха в камеру экскавации во время простоев щита.

При длительных простоях щита рекомендуется закачка бентонитовой суспензии в камеру и удержание ее постоянного давления с помощью насосов подачи. Бентонитовая суспензия является несжимаемой средой и при максимальном заполнении полостей в разработанном грунте обеспечивает удер-

живание всей плоскости забоя и земной поверхности перед и над щитом.

Кессонные работы

При работах в нормальном и повышенном атмосферном давлении должен осуществляться контроль давления пеногрунта и контроль давления сжатого воздуха. Соблюдение значений этих давлений, необходимых для удерживания обнажения забоя, обеспечивает стабильность земной поверхности.

Большая глубина тоннеля, особенно при значительной высоте слоя неустойчивых грунтов сверху, приводит к необходимости повышать давление для поддержания забоя. Это вызывает резкое увеличение продолжительности кессонных смен за счет времени на шлюзование рабочих. Повышается временная продолжительность осадок поверхности над тоннелем.

Необходимо выбирать места остановок для работ в забое в зонах наиболее устойчивых или упрочненных грунтов. Также для этого пригодны вмещающие грунты, наименее проницаемые для сжатого воздуха во избежание его утечек и колебаний давления.

Места остановок щита целесообразно приурочивать к заранее упрочненным массивам, в которых планируется в дальнейшем соорудить примыкания к подходным выработкам. Упрочненный массив наименее подвержен осадке земной поверхности.

Расстояние между местами остановок должно совпадать с интервалами трассы тоннеля, за время прохождения которых прогнозируются износ и замены режущего инструмента.

Штатные уплотнения щита

Над тоннелем может появиться дополнительная осадка в результате разуплотнения примыканий деталей щита и обделки с выносом грунта и грунтовой воды в рабочее пространство тоннеля.

Во избежание потери герметичности щита необходимо организовать визуальный

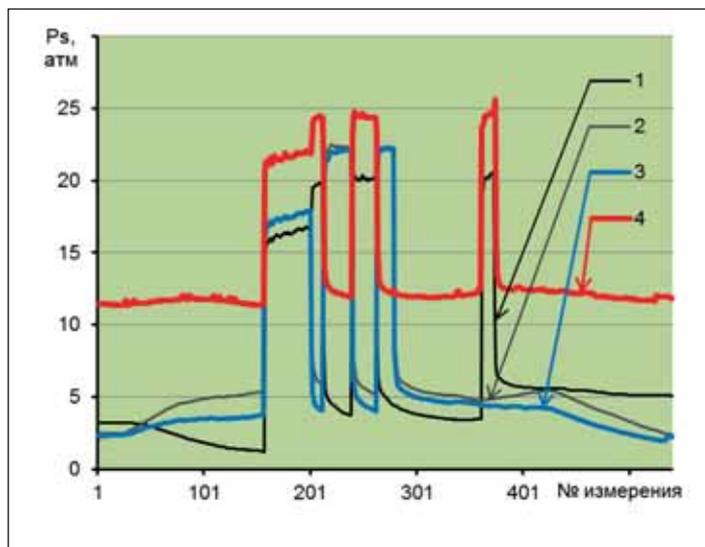


Рис. 4. Давление мастики в каналах нагнетания № 1...№ 4 (канал № 4 заблокирован)

контроль целостности уплотнений, иметь аварийный запас уплотнительных материалов или предусмотреть аварийное уплотнение в конструкции.

Обязательным условием для штатной работы зазоров, заполненных уплотнительным материалом, является ведение непрерывного мониторинга давления и расходов уплотнительных мастик. Как правило, возможность таких измерений предусмотрена в современных щитовых машинах.

На рис. 4 в качестве примера приведен результат мониторинга давления мастики в каналах уплотнения хвостовика щита с заблокированным каналом № 4, указывающим на неисправность прилегающей части уплотнения.

Во избежание выхода из строя щеточного уплотнения хвостовика щита нужен контроль перекосов (отклонений направления от оси тоннеля) щита/ротора.

Необходимо с помощью предварительных исследований подобрать такие составы мастики щеточных уплотнений и контактирующего с ней твердеющего раствора, чтобы при взаимодействии с раствором не терялись герметизирующие свойства мастики и щеток.

Штатная работа уплотнений щита препятствует дренажу грунтовых вод и осадке земной поверхности.

Мероприятия по уплотнению шнека

При простое щита должен осуществляться контроль закрытия выпускной задвижки на шнековом транспортере с помощью установленного на нём датчика положения задвижки.

Чтобы не допустить деформирования и поломки задвижки, рекомендуем не применять ее частичного закрытия при выдаче грунта. Пример результата закрытия задвижки после остановки проходки (рис. 5) показывает на плавный рост давлений в шнеке P_{sc} и в рабочей камере щита P_c .

При открытии задвижки давление P_{sc} резко возвращается на прежний низкий уровень,

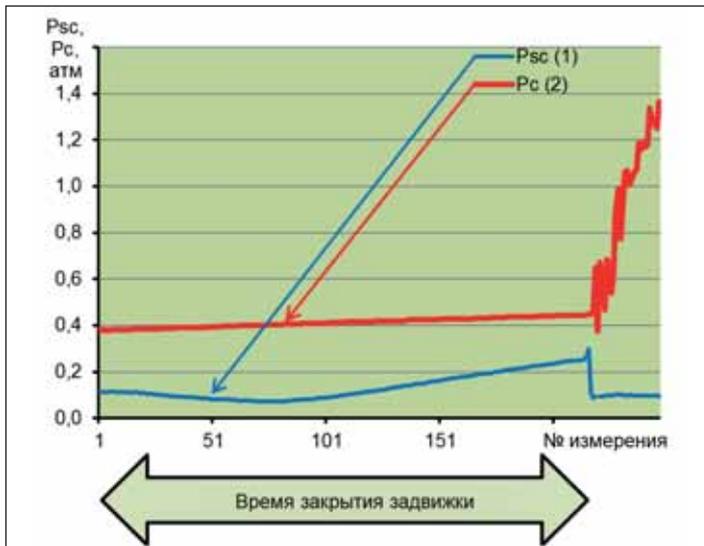


Рис. 5. Давление грунта в камере Pс и в шнековом транспортере Pсс при закрытии его задвижки

а давление Pс становится соответствующим давлению грунтового массива после включения проходческих домкратов в работу.

Контроль подачи кондиционеров в шнек должен осуществляться датчиками расхода и давления в каждой линии подачи в переднюю часть шнека.

Степень герметичности при шнековом транспортировании грунта оценивают по разности контролируемых давлений грунта в передней и задней части шнека: чем больше разность давлений, тем выше герметичность шнека при прочих равных условиях.

Контролируемая работа шнекового транспортера препятствует перебору грунта и возникающей осадке земной поверхности.

Кондиционирование грунта

Для регламентирования соответствия добавок-кондиционеров типу грунта необходимо организовать постоянный мониторинг типа извлекаемого грунта и расхода соответствующих типу грунта добавок-кондиционеров. Рекомендуем обязательно проверить пластифицирующее действие различных концентраций добавок на свойства грунта по показателям вращающих моментов режущей головки ротора и шнекового транспортера.

Нарушение режима направленного изменения свойств пеногрунта добавками-кондиционерами приводит к потере пластичности и ненадлежащему противодействию давлению грунта и грунтовых вод в камере, что увеличивает осадку земной поверхности.

Непрерывное нагнетание раствора

В процессе проходки, а иногда и при длительном простое щита, необходимо осуществлять контроль давления инъекционного раствора датчиками в каналах нагнетания за обделку тоннеля.

Система нагнетания через хвостовик щита должна быть настроена так, чтобы каждая порция раствора автоматически подавалась через канал, где понизилось давление менее допустимого [2]. Если давление раствора в канале не

создается, то это говорит о необходимости устранить неисправность насоса (рис. 6).

Практический опыт проходки [7] показывает, что усредненное давление раствора P_p [бар] в каналах нагнетания может быть рассчитано исходя из усредненного давления в забое $P_3/P_p = 1,6 \times P_3 + 1,7$.

Объем заполнения раствором пространства за обделкой должен оперативно оцениваться показаниями датчиков расхода раствора по каждому каналу нагнетания.

На участке тоннеля, где произошел сбой системы нагнетания, необходимо проводить геофизическое обследование пространства за обделкой и давать рекомендации по контрольному нагнетанию раствора через блочную обделку.

Вклад процессов заполнения зазора за обделкой тоннеля раствором составляет до 1/3 величины суммарной осадки над тоннелем. Поэтому целесообразно в дальнейшем минимизировать осадку за счет полноты заполнения раствора и направленного подбора его свойств (усадка, время схватывания и твердения).

Заключение

Предложенные решения по мониторингу щитовой технологии, которые связаны с ранее описанными конструктивными и проектными решениями щитовой проходки [4, 8], позволят существенно снизить осадки земной поверхности над ЕРВ-щитами.

Ключевые слова

Износ режущего инструмента, обеспечение давления пригруза, кессонные работы, уплотнения, кондиционирование грунта, нагнетание раствора.

Wear of cutting tool, providing pressure loading, caisson work, sealing, soil conditioning, grout injection.

Список литературы

1. Елгаев С. Г., Мазеин С. В., Федунец Б. И. Научно-техническое обоснование выбора ти-

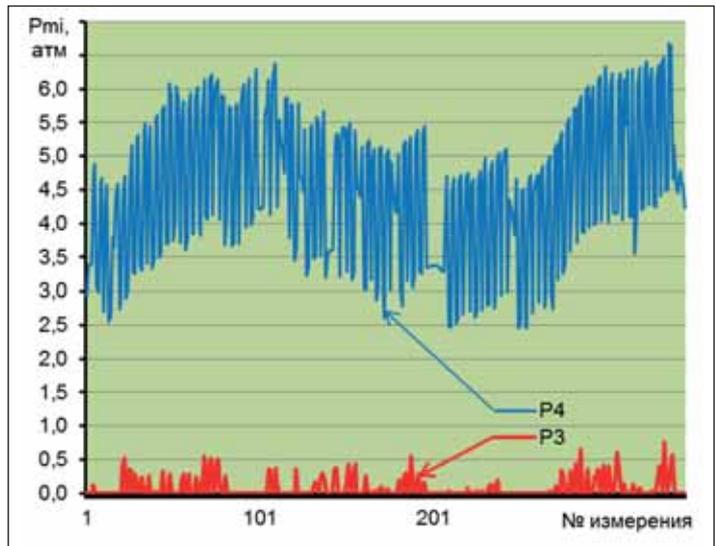


Рис. 6. Давление раствора Pmi в каналах № 3 и № 4 (в канале № 3 – сбой в работе насоса)

на пригруза щитовой проходки в сложных инженерно-геологических условиях строительства тоннелей метро // Метро и тоннели. – 2016. – № 1. – С. 10–14.

2. Мазеин С. В. Контроль инъекционного давления твердеющего раствора за обделкой тоннеля и проходческим щитом // Горное оборудование и электромеханика. – М. – 2009. – № 11. – С. 41–45.

3. Мазеин С. В., Потапов М. А. Мониторинг грунтового давления и объема выемки обводненного массива для безопасной проходки щитом // Безопасность труда в промышленности. 2012. № 11. С. 58–62.

4. Федунец Б. И., Мазеин С. В. Минимизация осадки земной поверхности грунтотригрозом тоннелепроходческого механизированного комплекса // Метро и тоннели. – 2016. – № 2. – С. 4–6.

5. Мазеин С. В., Вознесенский А. С. Влияние нагрузок от щита на вертикальную деформацию здания на поверхности вдоль трассы тоннеля // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. № 11. С. 155–164.

6. Мазеин С. В., Песков С. М. Опыт внедрения системы контроля режущего инструмента ротора на ТПМК «Херренкнехт» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – МГУ. – 2005. – № 9. – С. 58–63.

7. Мазеин С. В. Обоснование расчетных сопротивлений трения грунта и тоннельной обделки продвижению щитовой машины // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 11. – С. 2–8.

8. Мазеин С. В., Прудников А. Д., Лехт В. В. Проектные решения по минимизации осадки земной поверхности грунтотригрозом тоннелепроходческого механизированного комплекса // Метро и тоннели. – 2016. – № 3. – С. 6–9.

Для связи с авторами

Федунец Борис Иванович

info@rus-tar.ru

Потапов Михаил Анатольевич

info@rus-tar.ru



ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА ПРИ ПРОХОДКЕ ИНЖЕНЕРНОГО КОЛЛЕКТОРА ЩИТОВЫМ СПОСОБОМ

ENSURING THE SAFETY EXISTING STRUCTURES OF THE MOSCOW METRO DURING THE CONSTRUCTION OF THE COLLECTOR BY TBM METHOD

Д. Е. Чёлушкин, научный сотрудник, филиал АО «ЦНИИС «НИЦ Тоннели и метрополитены»

D. E. Chelushkin, researcher, Research institute of transport construction, JSC

Представлены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива и конструкций эксплуатируемого перегонного тоннеля метрополитена при проходке под ним инженерного коллектора диаметром 4100 мм щитовым способом. Рекомендованы мероприятия, обеспечивающие сохранность конструкций тоннеля метрополитена и выполнен анализ эффективности мероприятий, обеспечивающих его сохранность.

The article presents the results of numerical modeling of stress-strain state of soil and structures existing tunnels of the Moscow Metro during the construction of the tunnel communication $\varnothing 4100$ mm shield method. Recommended protective measures to provide the safety and reliability of structures the metro tunnel and the analysis of the effectiveness of the proposed measures.

По решению правительства Российской Федерации в рамках подготовки празднования 100-летнего юбилея Государственного музея изобразительных искусств имени А. С. Пушкина (ГМИИ) принят план создания Музейного городка – объединенного музейного комплекса на территории, принадлежащей музею. В результате реализации проекта комплексной реконструкции, реставрации, технического перевооружения и нового строительства музейный комплекс будет состоять из девяти самостоятельных музеев. Площадь территории музея увеличится более чем в два раза – до 105 тыс. м², расчетное количество посетителей превысит 3 млн человек ежегодно.

Территория Музейного городка располагается в историческом центре Москвы, неподалёку от Кремля и храма Христа Спасителя и характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, высокой плотностью застройки, насыщенностью инженерными коммуникациями. При комплексной реконструкции объекта предполагается строительство коллекторных тоннелей для переустройства существующих и проведения новых коммуникаций, необходимых для эксплуатации объектов Музейного городка. В зону влияния нового строительства попадают существующие наземные здания и сооружения, а также эксплуатируемый тоннель метрополитена (рис. 1), обеспечение сохранности и эксплуатационной надежности которых является важной задачей.

Рассмотрим влияние строительства инженерного коллектора на НДС конструкций

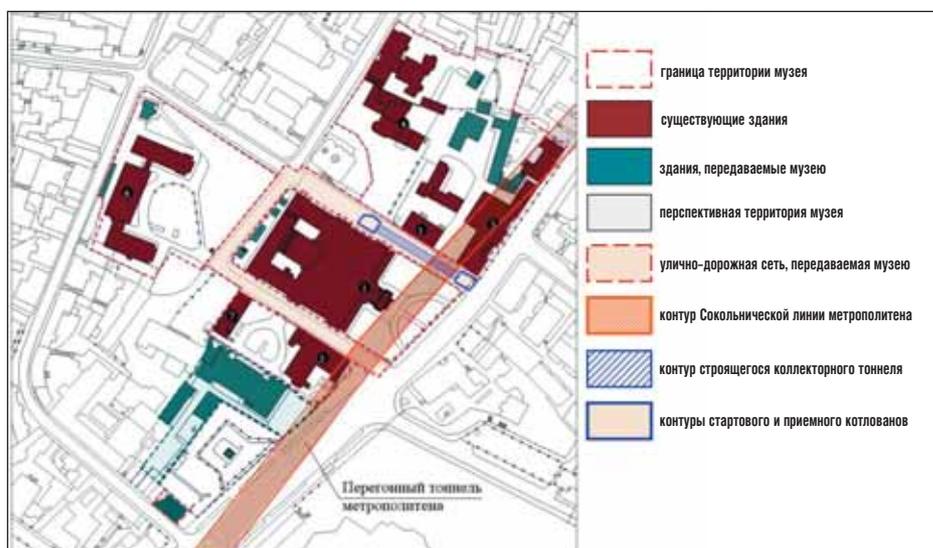


Рис. 1. Схема расположения Музейного городка

эксплуатируемого перегонного тоннеля Сокольнической линии Московского метрополитена между станциями «Библиотека им. Ленина» и «Кропоткинская».

В геологическом строении территории проектируемого строительства принимают участие отложения четвертичной и каменноугольной систем. Геологическое строение на участке трассы представлено техногенными грунтами, песками различной крупности с прослоями супесей и суглинков, напластованиями супесей и суглинков с различными включениями. Под четвертичными отложениями залегают породы верхнего отдела каменноугольной системы, представ-

ленные элювиальными отложениями, дресвяно-щелебнистыми грунтами. Гидрогеологические условия характеризуются наличием напорного водоносного горизонта, залегающим на глубине 20,1–22,6 м от поверхности земли.

Перегонный двухпутный тоннель метрополитена сооружен открытым способом в 1934 г. и представляет собой однопролетную конструкцию прямоугольного сечения переменной ширины. Ширина тоннеля на рассматриваемом участке составляет 10,3 м, глубина заложения ~1,6 м. Перекрытие и лотковый блок выполнены из железобетона, стены из монолитного бетона. Перекрытие и

стены тоннеля омоноличены между собой, лотковые элементы отделены от монолитной части конструкции строительными швами. По результатам обследования определена работоспособная категория технического состояния тоннеля.

Трасса строящегося коллектора пересекает двухпутный перегонный тоннель под углом ~110°. Проходка ведется в пластичных супесях, непосредственно под тоннелем метрополитена (шелыга свода расположена на ~5,1 м ниже лотка перегонного тоннеля) тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК) фирмы Herrenknecht (модель M1127M/EPB 3600) с грунтовым пригрузом забоя. Диаметр оболочки щита $D_{нар} = 4,300$ м, диаметр резанья $D_{рез} = 4,347$ м. Обделка тоннеля высокопрочная сборная железобетонная (класс бетона по прочности на сжатие B45) с резиновыми уплотнительными прокладками $D_{нар}/D_{вн} = 4,100/3,600$ м. На расстоянии в плане ~5 м от перегонного тоннеля метрополитена расположен приемный котлован (демонтажная камера) для выхода ТПМК. Котлован имеет размеры в плане 10,0×9,6 м и глубину 19,5 м. Ограждение котлована – буросуточные сваи (БСС) диаметром 1000 мм. Крепление ограждения котлована – раскосы из труб диаметрами 426×10 и 512×12 мм, установленные в семь ярусов. Под днищем и по контуру ограждения котлована в зоне выхода ТПМК предусмотрено укрепление грунтов струйной цементацией.

Основными факторами, определяющими величины деформаций тоннеля метрополитена и вмещающего грунтового массива при проходке коллектора, являются: деформативность обделки коллекторного тоннеля (характеристики материалов обделки вводятся в программу расчета), переборы грунта при его разработке и продвижении щита, выпуски породы в забое, качество заполнения строительного (кольцевого) зазора между хвостовой оболочкой щита и возводимой обделкой.

При правильном выборе величины активного пригруза забоя и проходке в штатном режиме переборы (потери объема) грунта происходят из-за конструктивных особенностей ТПМК. Характерной особенностью щитов, предназначенных для сооружения инженерных коллекторов, является «конусность» – разница между диаметрами щита в зоне резанья и в хвостовой оболочке (рис. 2). Конусность конструкции щита определяет его маневренность – чем она выше, тем меньшие радиусы кривых может прокладывать щит, что особенно важно при проходке коллекторных тоннелей в стесненных городских условиях.

Другим фактором, влияющим на величину смещений (осадок) в грунтовом массиве при проходке, являются качество (полнота) заполнения тампонажными растворами строительного зазора между хвостовой оболочкой щита и возводимой обделкой.

Для моделирования потери объема грунта применяется метод «усадки», в котором

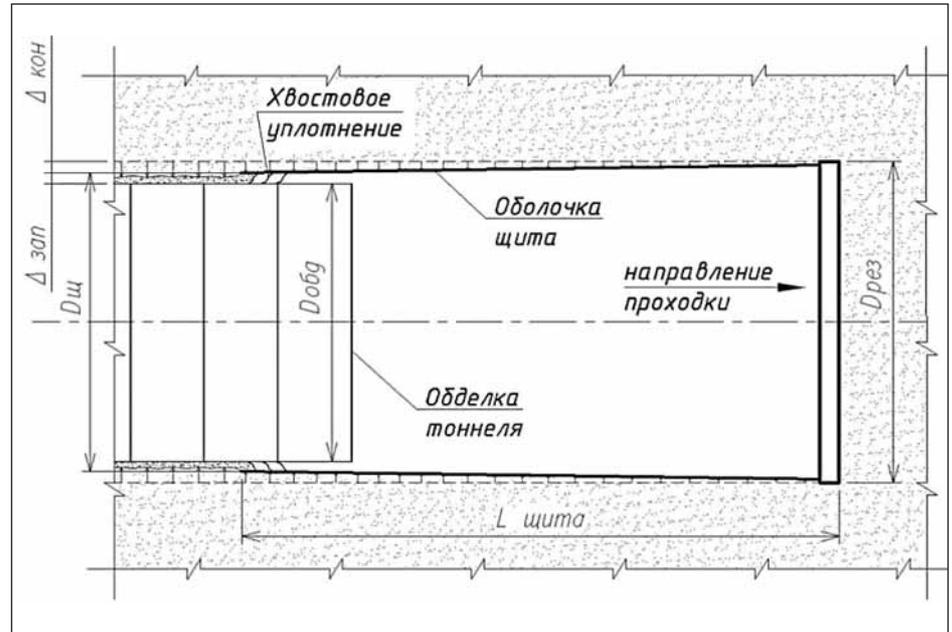


Рис. 2. Схема к определению величины усадки тоннельной обделки

«усадка» присваивается тоннельной обделке для моделирования уменьшения площади сечения тоннеля.

«Усадка» определяется как процент уменьшения площади поперечного сечения тоннеля по сравнению с первоначальной (в зоне резанья). Величина усадки учитывает конусность щита, а также полноту заполнения строительного зазора.

Усадка при проходке рассчитывается по следующей формуле (объемы даны на 1 п. м):

$$\Delta = (V_{рез} - V_T^i) / V_{рез} \cdot 100\%,$$

где $V_{рез}$ и V_T – объем разрабатываемого/извлекаемого грунта в призабойной зоне и в зоне готового тоннеля с учетом заполнения строительного зазора,

i – полнота заполнения строительного зазора.

Величина конусности принятого проектом щита:

$$\Delta_{кон} = \frac{D_{рез} - D_{щц}}{2} = 0,0235 \text{ м.}$$

Величина строительного зазора при проходке:

$$\Delta_{зап} = \frac{D_{щц} - D_{обд}}{2} = 0,100 \text{ м.}$$

Объем разрабатываемого грунта в призабойной зоне:

$$V_{рез} = \pi \cdot \frac{D_{рез}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{4,347^2}{4} = 14,841 \text{ м}^2 \cdot \text{м.}$$

Объем извлеченного грунта в зоне хвостовой оболочки:

$$V_{щц} = \pi \cdot \frac{D_{щц}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{4,300^2}{4} = 14,522 \text{ м}^2 \cdot \text{м.}$$

Объем готового тоннеля (с учетом заполнения строительного зазора $\Delta_{зап}$):

$$V_T^{1.0} = \pi \cdot (D_{обд} + 2\Delta_{зап})^2 / 4 = V_{щц} = 14,522 \text{ м}^2 \cdot \text{м} - \text{заполнение } 100\%,$$

$$V_T^{0.9} = \pi \cdot (D_{обд} + 2\Delta_{зап} \cdot 0,9)^2 / 4 =$$

$$= 14,387 \text{ м}^2 \cdot \text{м} - 90\%,$$

$$V_T^{0.5} = \pi \cdot (D_{обд} + 2\Delta_{зап} \cdot 0,5)^2 / 4 =$$

$$= 13,854 \text{ м}^2 \cdot \text{м} - 50\%,$$

$$V_T^0 = V_{обд} = \pi \cdot D_{обд}^2 / 4 = 3,14 \cdot 4,100^2 / 4 =$$

$$= 13,202 \text{ м}^2 \cdot \text{м} - 0\% \text{ (без заполнения).}$$

В результате получаем величину усадки:

$$\Delta^{1.00} = \frac{14,845 - 14,522}{14,845} \cdot 100\% = 2,17\% -$$

заполнение строительного зазора 100 %,

$$\Delta^{0.90} = 3,00\% - \text{заполнение } 90\%,$$

$$\Delta^{0.50} = 6,67\% - \text{заполнение } 50\%,$$

$\Delta^0 = 11,06\%$ – при проходке без заполнения строительного зазора.

Исходя из результатов анализа измеренных осадок земной поверхности на пройденных щитом участках трассы коллектора и опыта назначения величины усадки при применении аналогичных щитов в похожих инженерно-геологических условиях, величина усадки принята равной 3 % при условии проходки в штатном режиме и 90-% заполнении строительного зазора тампонажным раствором.

Для определения возможных перемещений (деформаций) обделки тоннеля метрополитена при проходке коллектора выполнено численное моделирование сложившейся геотехнической ситуации в зоне строительства. Расчеты велись с применением комплекса программ Plaxis 3D, предназначенного для решения широкого круга задач инженерной геотехники на основе метода конечных элементов. НДС грунтового массива и тоннельных конструкций определено решением пространственной упругопластической задачи. Для моделирования работы грунтов использована упругопластическая модель «Упрочняющегося грунта». Для проведения расчетов выбрана расчетная область в границах с наибольшим влиянием нового строительства на эксплуатируемый тоннель метрополитена.

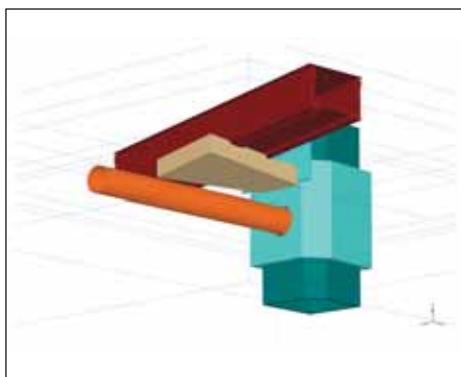


Рис. 3. Расчетная область. Расчет № 2

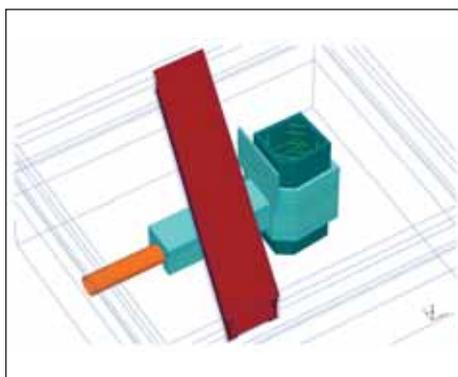


Рис. 4. Расчетная область. Расчет № 3

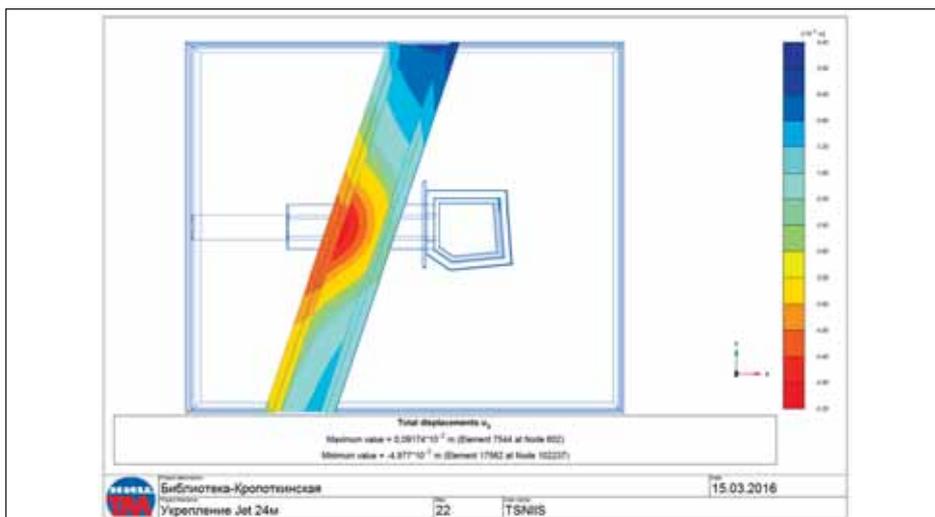


Рис. 5. Изополя вертикальных перемещений (осадок) обделки перегонного тоннеля метрополитена. Расчет № 3

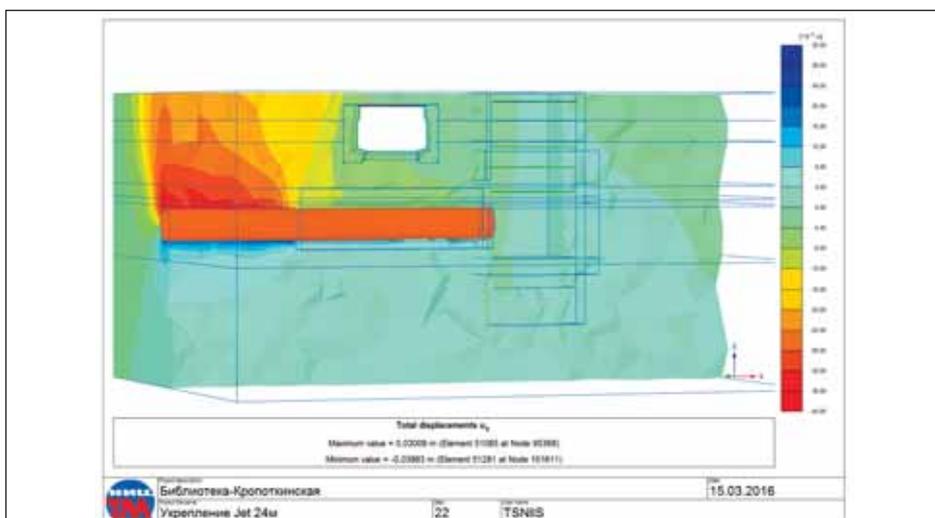


Рис. 6. Изополя вертикальных перемещений (осадок) в массиве (разрез вдоль оси коллектора). Расчет № 3

Численная модель (расчетная область) разбита на конечные элементы и представлена на рис. 3 и 4. Изополя вертикальных перемещений в массиве, осадок обделки перегонного тоннеля представлены на рис. 5 и 6. Прогнозируемые расчетные значения смещений (деформаций) обделки тоннеля в результате проходки коллектора представлены в табл.

Проверка прочности элементов конструкций тоннельной обделки показала, что напряжения, возникающие в элементах обделок перегонного тоннеля метрополитена в результате проходки инженерного коллектора, не превышают предельно допустимых, конструкции обладают достаточными запасами по несущей способности.

Однако, согласно результатам расчетов, при проходке коллектора щитовым способом (расчет № 1) конструкции тоннеля метрополитена претерпевают значительные (до 10–11 мм) деформации. Такие величины деформаций (осадок) могут стать причиной снижения эксплуатационной безопасности тоннельного сооружения. Кроме того, при отклонении параметров щитовой проходки от предусмотренных регламентом (нарушение технологии проходки, значительные переборы грунта, неудовлетворительное заполнение строительного зазора между возводимой обделкой и грунтом и т. д.) существует опасность значительного и неконтролируемого увеличения осадок в грунтовом массиве. Это может повлечь за собой поворот балок перекрытия и изменение характера опирания их на стены с уменьшением площади (длины) опорных зон концевых частей балок на консоли. Следствием таких смещений элементов конструкций перегонного тоннеля может стать раскрытие швов и образование уступов между лотковыми и стеновыми элементами обделки, снижение несущей способности плит перекрытия и нарушение наружной гидроизоляции.

Для снижения величин осадок, а также предотвращения возможных аварийных ситуаций при проходке рассмотрено применение специальных защитных мероприятий, в числе которых:

- повышение несущей способности песчаных грунтов в основании тоннеля на глубину до 2–2,5 м инъекцией растворов на основе ОТДВ Микродур (расчет № 2);
- устройство методом струйной цементации укрепленного грунтового массива (целика) из грунтоцементных свай (ГЦС) в зоне проходки вокруг контура резки ТПМК (расчет № 3).

В качестве дополнительного мероприятия для предотвращения возможных осадок грунта при устройстве грунтоцементного массива и проходке коллекторного тоннеля предложено устройство скважин компенсационного нагнетания в основании перегонного тоннеля метрополитена.

Для обеспечения непрерывной эксплуатации тоннеля метрополитена, а также в

Расчетные смещения сооружений метрополитена

Таблица

№ расчета	Описание защитных мероприятий	Расчетные смещения, мм			
		Максимальные абс.	Горизонтальные	Вертикальные (осадка)	Разность осадок
1	Без применения защитных мероприятий	11	4	11	5
2	Укрепление грунтов в основании тоннеля метро	10	4	10	5
3	Устройство ГЦМ в зоне щитовой проходки	5	2	5	3

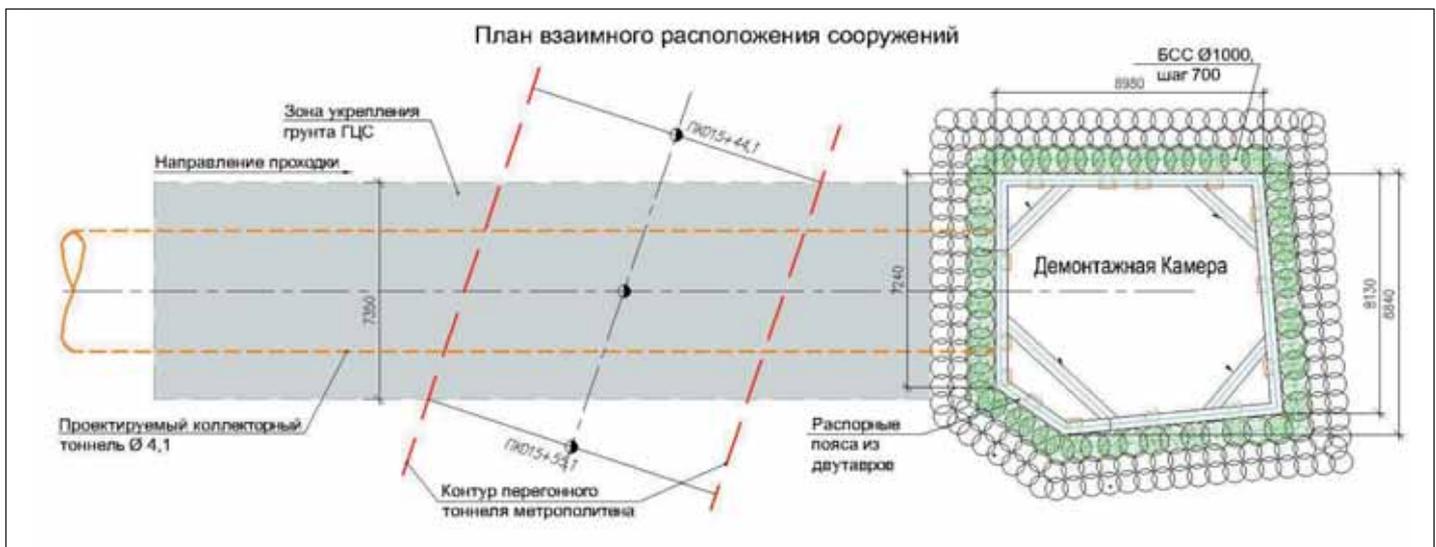


Рис. 7. Схема расположения зоны укрепления грунтов струйной цементацией

связи с наличием большого количества инженерных коммуникаций, затрудняющих производство работ с дневной поверхностью, инъекционные работы планируется выполнить из демонтажного котлована, расположенного в непосредственной близости от тоннеля метрополитена.

Анализ результатов поверочных расчетов по двум вариантам проведения защитных мероприятий показал, что укрепление грунтов в основании тоннеля метрополитена (расчет № 2) не принесет ожидаемый эффект, т. е. прогнозируемые осадки перегонного тоннеля снизятся незначительно. В то же время при устройстве массива из укрепленного грунта в зоне проходки под тоннелем метрополитена (расчет № 3) прогнозируемые осадки конструкций метрополитена с 11 до 5 мм, разность осадок конструкций метрополитена с 5 до 3 мм.

По результатам сравнительных расчетов предложен наиболее эффективный способ снижения осадок конструкций метрополитена при щитовой проходке коллектора под ним. Таковым, с учетом физико-механических характеристик вмещающих грунтов, является устройство массива из укрепленного грунта в зоне проходки коллекторного тоннеля методом струйной цементации (рис. 7 и 8).

Таким образом:

- учет конструктивных и технологических факторов щитовой проходки позволяет с большей точностью спрогнозировать осадки грунтового массива;
- расчетный анализ предлагаемых защитных и противоаварийных мероприятий в зоне нового строительства необходим для выбора наиболее эффективного решения с точки зрения обеспечения безопасности эксплуатации существующих объектов метрополитена. В данном случае увеличение деформационных и прочностных характеристик грунтов в зоне проходки коллектора снижают развитие вертикальных деформаций в вышележащие слои грунтового массива, тоннеля метрополи-

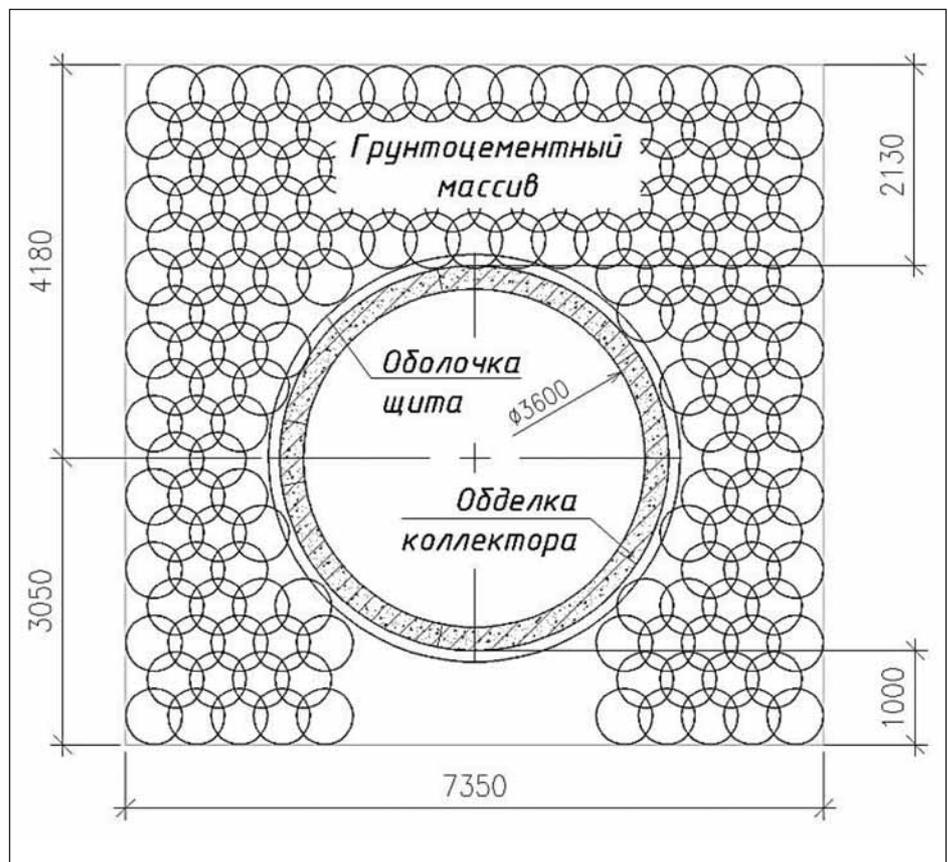


Рис. 8. Схема расположения свай ГЦС

тена, а также риски возникновения нештатных ситуаций при нарушении технологии проходки коллектора.

Ключевые слова

Метрополитен, щитовая проходка, ТПМК, напряженно-деформированное состояние, осадки, защитные мероприятия, струйная цементация.

Subway, shield tunneling, TMB, stress-strain state, settlements, protective measures, jetgrouting.

Список литературы

1. Технологический регламент на проходку ТПМК фирмы Herrenknecht $D_{нар} = 4,1 м$

участка коллектора для инженерных сетей в интервале от камеры К5 до камер К2 – М.: Филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ ТМ», 2014. – 118 с.

2. Укрепление грунтов в основании действующего перегонного тоннеля метрополитена между станциями «Библиотека им. Ленина» и «Кропоткинская» в зоне сооружения общего коллектора. – Рабочая документация. – М.: Филиал АО ЦНИИС «НИЦ ТМ», 2016. – 52 с.

Для связи с автором

Чёлушкин Дмитрий Евгеньевич
chelushkin.d.e@gmail.com



МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ, АРМИРОВАННЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СТЕРЖНЯМИ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

METHOD OF CALCULATING THE STABILITY OF SOILS REINFORCED BY HORIZONTAL NAILS OF CIRCULAR CROSS-SECTION

А. О. Кузнецов, аспирант, м. н. с. СГУПС

Г. Н. Полянкин, к. т. н., с. н. с., доцент СГУПС

A. O. Kuznetsov, Postgraduate Student, Research Assistant STU

G. N. Polyankin, Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Researcher, Docent STU

В статье представлена методика расчета вертикального откоса грунтового массива, армированного горизонтальными стержнями круглого сечения. Особенностью предлагаемой методики является подбор параметров армирования откоса исходя из несущей способности грунтового массива при его прорезании стержнями.

The paper presents a methodology of calculation of the vertical slope soils reinforced by horizontal nails with circular cross-section. A feature of the proposed method is the selection of the reinforcement parameters based on the bearing capacity of soils when nails cut through soils.

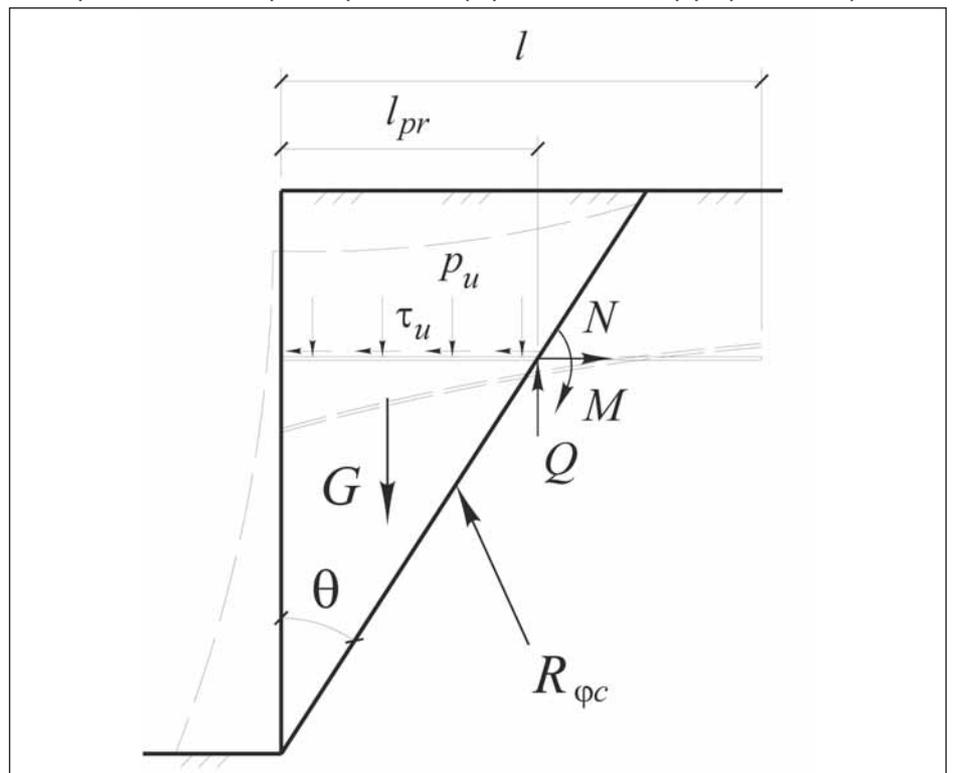
Один из технологических методов повышения устойчивости грунта впереди лба забоя при проходке тоннелей заключается в армировании ядра выработки горизонтальными стержневыми элементами. Аналогичная схема усиления используется и при креплении бортов котлованов, например, при строительстве перегонных

тоннелей и станций метрополитенов, сооружаемых открытым способом.

Рассмотрим принципиальную схему работы горизонтального армоэлемента в вертикальном откосе (рис. 1). Здесь приняты следующие обозначения:

γ , φ и c – удельный вес, угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта;

Рис. 1. Принципиальная схема работы армоэлемента (штриховкой показан деформированный вид)



H – высота откоса;
 p – внешнее давление на бровке;
 l_p, h_i и $d = 2r$ – соответственно длина, глубина расположения и диаметр i -го армоэлемента;
 a – шаг армоэлементов по горизонтали и вертикали.

В момент потери устойчивости откоса армирующий стержень «прорезает» призму обрушения. Силовое взаимодействие армоэлемента и призмы обрушения характеризуется предельными напряжениями – вертикальными p_u и касательными τ_u , причем:

$$\tau_u = \sigma_u \operatorname{tg} \psi, \quad (1)$$

где σ_u – нормальная к поверхности армоэлемента составляющая предельного давления p_u ;

$\operatorname{tg} \psi$ – коэффициент трения армоэлемента по грунту.

В результате на неподвижный массив грунта будут передаваться следующие усилия «прорезания»:

$$\begin{aligned} Q &= p_u A_{pr}, \\ M &= Q \cdot l_{pr} / 2, \\ N &= \tau_u A_{pr}, \end{aligned}$$

где $A_{pr} = l_{pr} \pi r$ – рабочая площадь контакта грунта и армоэлемента в пределах призмы обрушения.

Таким образом, работа горизонтального армирующего стержня будет состоять в передаче части нагрузки от веса G призмы обрушения на неподвижный грунтовый массив.

На рис. 2 представлена расчетная схема армированного откоса. Как было сказано выше, каждый армоэлемент будет передавать на неподвижную часть основания усилия Q_i, M_i, N_i . Поставим задачу определить такое число n армоэлементов, при котором суммы вертикальных проекций реактивных сил R и T_c и усилий ΣQ_i будет достаточно для восприятия веса G и внешней нагрузки P :

$$T_c \cos \theta + R \sin(\varphi + \theta) + \Sigma Q_i \geq G + P.$$

Здесь обозначено:

$$\begin{aligned} G &= 0,5 \gamma a H^2 \operatorname{tg} \theta, \\ P &= p a H \operatorname{tg} \theta, \\ T_c &= c a H / \cos \theta, \\ Q_i &= p_u \pi r l_{pr,i}. \end{aligned}$$

Тогда система сил, показанная на схеме, будет уравновешенной при $E = 0$. В этом случае необходимость в подпорной стенке отпадает, и откос будет удерживаться только за счет работы армирующих стержней.

Из суммы проекций сил на горизонтальную и вертикальную оси получим:

$$\begin{aligned} E + T_c \sin \theta - R \cos(\varphi + \theta) + \Sigma N_i &= 0 \\ P + G - T_c \cos \theta - R \sin(\varphi + \theta) - \Sigma Q_i &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

где $N_i = \tau_u l_{pr,i} \pi r$.

Уравнение моментов устанавливает соответствие между координатами точек приложения сил E и R , и здесь не рассматривается.

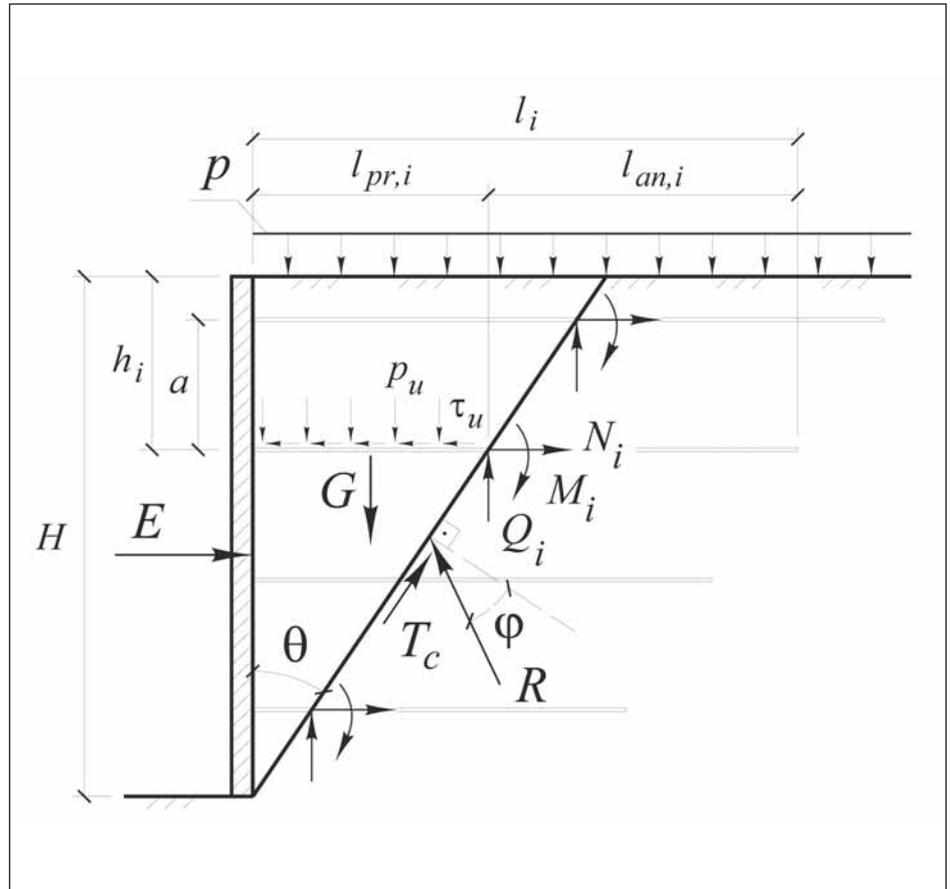


Рис. 2. Расчетная схема вертикального откоса, армированного горизонтальными стержнями

Разрешая систему (2) относительно E , получим:

$$E = (P + G - \Sigma Q_i) \operatorname{ctg}(\varphi + \theta) - \Sigma N_i - T_c \cos \varphi / \sin(\varphi + \theta). \quad (3)$$

Сила активного давления равна:

$$E_a = \max E(\theta). \quad (4)$$

Для абсолютно гладких стержней положение опасной линии скольжения определяется углом $\theta = \pi/4 - \varphi/2$, для шероховатых – выполняется численный поиск θ .

Если $E_a \leq 0$, то откос удерживается только армирующими стержнями, и удерживающие конструкции нужны лишь для обеспечения местной устойчивости грунта (против «осыпания» между стержнями).

Если $E_a > 0$, то для удержания откоса, кроме армирования, требуется подпорная стенка, но при этом армоэлементы уменьшают величину E_a по сравнению с неармированным откосом. Здесь представляется возможным рассмотреть два расчетных случая – когда стенка связана с армоэлементами, и когда они работают независимо.

В первом случае обрушения не произойдет, пока не будет превышена несущая способность армоэлементов на выдергивание из неподвижного грунта (предполагается, что прочность связей армоэлементов и стенки достаточна):

$$E_a + \Sigma N_i \leq \Sigma N_{an,i} = \Sigma \tau_u A_{an,i}, \quad (5)$$

где $A_{an,i} = l_{an,i} \pi r$ – площадь контакта, принимаемая равной полу поверхности армоэлемента, поскольку он, находясь в неподвижном массиве, испытывает существенные деформации изгиба под действием сил Q_i и M_i (см. рис. 1); τ_u – то же, что в формуле (1).

При выполнении условия (5) подпорная стенка работает фактически только на местную устойчивость. Если условие (5) не выполняется, то необходимо выполнять расчет стенки на воздействие силы $E_a - \Sigma N_{an,i}$.

Во втором случае (стенка и армоэлемент не связаны) удерживающую стенку следует рассчитывать на активное давление с результирующей E_a .

Следующий важный вопрос – это вопрос о величине $l_{an,i}$ заделки армирующего стержня в неподвижный грунтовый массив. В принципе, величина $l_{an,i}$ должна обеспечивать два условия – работу стержня на выдергивание силой N_i и устойчивость стержня против «выворачивания» силами Q_i и M_i .

Проверка на выдергивание выполняется по формуле:

$$N_i \leq N_{an,i} = \tau_u A_{an,i}. \quad (6)$$

Проверка против «выворачивания» выражается в обеспечении равновесия участка $l_{an,i}$ длины армоэлемента в заделке под действием сил Q_i и M_i . Это может быть осуществлено в соответствии с одной из трех схем.

В первой схеме предполагается, что армоэлемент деформируется в неподвижном

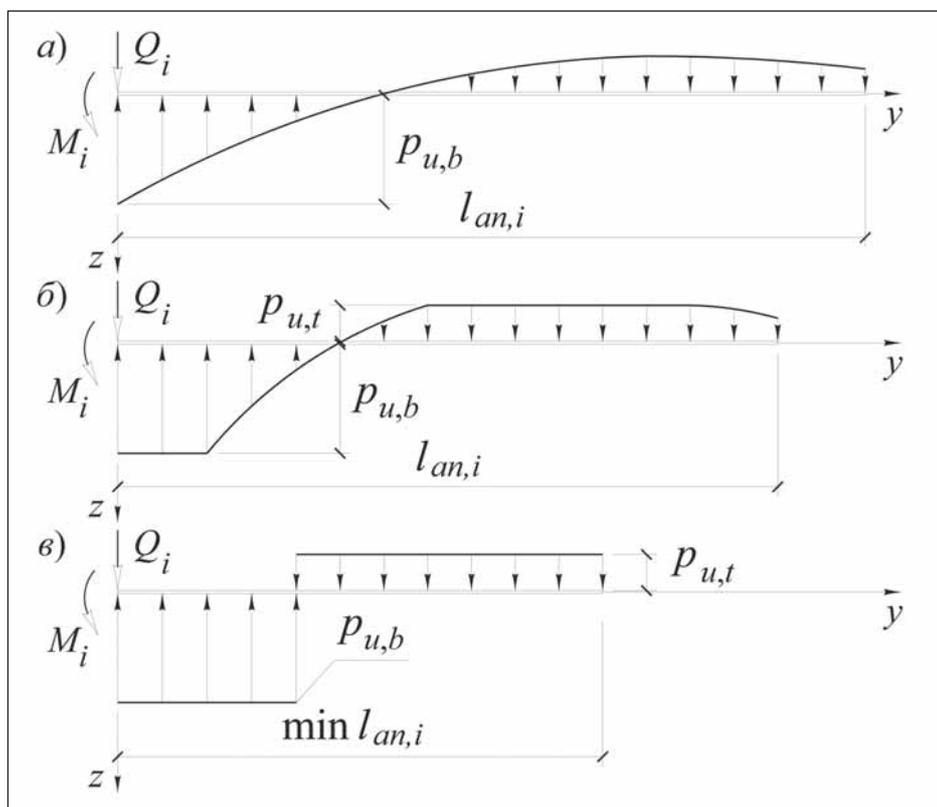


Рис. 3. Схемы к определению величины заделки армоэлемента: а – полностью безопасная заделка, б – с участками предельного давления, в – минимальная заделка

массиве согласно теории Фусса-Винклера, и контактные напряжения достигают предельных значений $p_{u,b}$ лишь в одной точке (рис. 3а). Во второй схеме допускается, что контактные напряжения достигают предельных значений на отдельных участках, причем снизу и сверху предельные значения, очевидно, будут различными – обозначим их $p_{u,b}$ и $p_{u,t}$ (рис. 3б). В третьей схеме рассмотрен предельный случай, когда на участке вдавливания армоэлемента в грунт напряжения равны $p_{u,b}$, а на участке, где армоэлемент выгибается вверх, «прорезая» вышележащие грунты, равны $p_{u,t}$ (рис. 3в). Третья схема дает минимально допустимую величину заделки.

Во всех трех случаях величина заделки $l_{an,i}$ определяется из статического равновесия балки, на которую действуют сила Q , момент M_i и контактные напряжения, определение которых рассмотрено только что.

Таким образом, для численной реализации предложенной здесь методики необходимо знать величины предельных напряжений на контакте «армоэлемент-грунт».

Для задачи о «прорезании» армоэлементом вышерасположенного грунта без учета глубины его расположения выражения для вертикальной и нормальной (к поверхности контакта) составляющих предельных напряжений имеют вид:

$$p_u = p_{u,t} = N_\gamma \gamma d + N_c c, \quad (7)$$

$$N_\gamma = (0,32 + 0,488e^{3,393\lg\phi})/\pi, \\ N_c = (2 + 4,3066e^{2,355\lg\phi})/\pi, \\ \sigma_u = \sigma_{u,t} = N_\gamma \gamma d + N_c c, \quad (8)$$

$$N_\gamma = (0,52574 + 1,21894e^{3,8059\lg\phi})/\pi, \\ N_c = (4,42748 + 6,96252e^{2,85942\lg\phi})/\pi.$$

Аналогичные зависимости получены и для случая вдавливания армоэлемента в нижерасположенный грунт. Без учета глубины расположения армоэлемента искомые составляющие предельных напряжений могут быть рассчитаны по формулам:

$$p_{u,b} = N_\gamma \gamma d + N_c c, \quad (9)$$

$$N_\gamma = (1,441 + 0,943e^{8,514\lg\phi})/\pi, \\ N_c = (11,489 + 6,404e^{5,984\lg\phi})/\pi; \\ \sigma_{u,b} = N_\gamma \gamma d + N_c c, \quad (10) \\ N_\gamma = (2,78 + 1,103e^{8,429\lg\phi})/\pi, \\ N_c = (9,501 + 11,587e^{5,513\lg\phi})/\pi.$$

Были разработаны практические рекомендации по расчету армированных горизонтальными элементами бортов котлованов и грунтов впереди забоя тоннелей. Основные этапы расчета, которые содержатся в разработанных практических рекомендациях:

- сбор нагрузок на бровке откоса (для опережающей крепи тоннелей – по гипотезе сводообразования или по схеме свободно опускающегося столба);

- предварительное назначение геометрических параметров армирования (длина, диаметр, шаг);

- определение предельных напряжений и их составляющих на контакте «армоэлемент-грунт» (см. ф-лы (7)...(10));

- определение наиболее невыгодного положения поверхности обрушения и величины равнодействующей активного давления (см. ф-лу (4));

- корректировка параметров армирования в зависимости от принятой схемы усиления откоса (с удерживающей стенкой или без нее);

- определение величины заделки армоэлементов в неподвижном грунте из равновесия участка армоэлемента длиной $l_{an,i}$ (см. рис. 3в);

- проверка армоэлементов на выдергивание (см. ф-лы (5) и (6));

- проверка общей устойчивости армогрунтового массива как квазисплошной подпорной стенки;

- проверка материала армоэлемента на разрыв усилием N_i (с учетом возможных дополнительных усилий от удерживающей стенки);

- проверка прочности связи (при наличии) армоэлементов с удерживающей стенкой.

Разработанная методика была реализована на ряде объектов подземного строительства в г. Новосибирске.

Ключевые слова

Устойчивость армированного грунта, горизонтальное армирование грунтового массива, теория предельного равновесия грунтов.

Reinforced soil stability, horizontal reinforcement of soil body, theory of limit equilibrium of soil.

Список литературы

1. Lunardi P. *Design and Construction of Tunnels. Leipzig, Germany. 2008. 575 p.*
2. Лунардни П., Андреа Б., Рослякова М., Дзенти К. Л. *Усиление выработок и ядра забоя с использованием метода A.D.E.CO-RS // Метро и тоннели. 2011. № 4. С. 26–29.*
3. Полянкин Г. Н., Кузнецов А. О., Карян Г. Г., Чусовитин Д. В., Молчанов В. С. *Обеспечение безопасности движения поездов при строительстве тоннеля под железнодорожными путями // Совершенствование технологий перевозочного процесса к 80-летию факультета «Управление процессами перевозок»: сб. научн. тр. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2015. С. 256–269.*
4. Джоунс К. Д. *Сооружения из армированного грунта. М.: Стройиздат, 1989. 281 с.*
5. Фролов, Ю. С. *Метрополитены / Ю. С. Фролов, Д. М. Голицинский, А. П. Ледаев. под ред. Ю. С. Фролова. М.: Желдориздат, 2001. 528 с.*
6. Кузнецов А. О. *Определение параметров предельного равновесия грунтового массива при взаимодействии с армоэлементом аналитическим и численным методами // Жилищное строительство. 2016. № 11. С. 7–11*

Для связи с авторами

Кузнецов Анатолий Олегович
kuzemon91@mail.ru
Полянкин Геннадий Николаевич
Polyankin@mail.ru



ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХЕРРЕНКНЕХТ: УНИКАЛЬНАЯ ПРОХОДКА ПОД БОСФОРОМ

Х. Йоханнис, ООО «Херренкнехт тоннельсервис»

Одна из глав истории тоннелестроения была недавно написана в Стамбуле. На протяжении 16 месяцев Турецко-Южно-Корейская объединенная строительная компания вела проходку гигантского тоннеля под Босфором при помощи щита от компании Herrenknecht. Беспрецедентная комбинация сложных рабочих моментов и давления грунтовых вод в 11 бар обусловила практически круглосуточную работу проходческой установки и людей.

Мечта, которая могла быть только у султана – тоннель под Босфором

В 1861 г. правитель Оттоманской империи Абдул-Меджид I вынашивал смелую идею проложить недостающую часть Великого Шелкового Пути под проливом Босфор. Через три десятилетия – в 1891 г. султан Абдул-Хамид II повелел провести оценку возможности сооружения такого тоннеля. Результаты оценки оказались неутешительными – в то время построить такое сооружение не представлялось возможным. Идеи правителей опережали свое время.

Через 150 лет эта мечта стала реальностью. Огромный проходческий щит завершает сооружение тоннеля Евразия под Босфором. Проект, который не смогли реализовать эксперты султана, даже по сегодняшним меркам представляет собой образец инновационного инженерного мастерства.

Представители объединенной Турецко-Южно-Корейской строительной компании говорят, что еще 15 лет назад они не могли бы и мечтать о реализации подобного проекта – слишком сложные геологические условия и высокое давление грунтовых вод на этом участке.

За несколько лет до этого компания Herrenknecht принимала участие в сооружении 4-го тоннеля под Эльбой в районе Гамбурга, где проходка велась при давлении воды в 5,5 бар – эти работы считались очень сложными и опасными. В Стамбуле же предстояло столкнуться с давлением в 11 бар.

Эксперты со всего мира с огромным интересом следили за выполнением этого проекта.

Тоннель между континентами

Даже через 150 лет с момента задумки сооружение такого тоннеля является сверхсложной инженерной задачей: требуется построить 5,4-километровый тоннель, 3,4 км которого проходят непосредственно под проливом Босфор. Для того, чтобы не мешать интенсивному судоходству, прокладка тоннеля выполнялась специально спроектированным тоннелепроходческим комплексом от компании Herrenknecht, который начал свою миссию в апреле 2014 г. из стартовой шахты на азиатской стороне Стамбула. С уклоном в 5 % Миксцит от Herrenknecht прокладывает свой путь через различные чередующиеся пласты скального и мяг-

кого грунта до глубины в 106 м от уровня моря, а затем медленно продвигался с уклоном вверх по направлению к европейской части Стамбула.

В самой глубокой точке тоннеля величина давления грунтовых вод достигала 11 бар – в 11 раз больше атмосферного давления на поверхности Земли. Учитывая гигантские размеры проходческого щита – 13,66 м, примерно как 4-этажный дом – с технической точки зрения этот проект был абсолютно неизведанной территорией. Никогда ранее проходческое оборудование такого размера не изготавливалось для работы под таким высоким давлением.

Партнер, которому можно доверять

В 2008 г., когда проект находился в разработке, бюрократические препоны практически поставили на нем крест. К 2009 г.

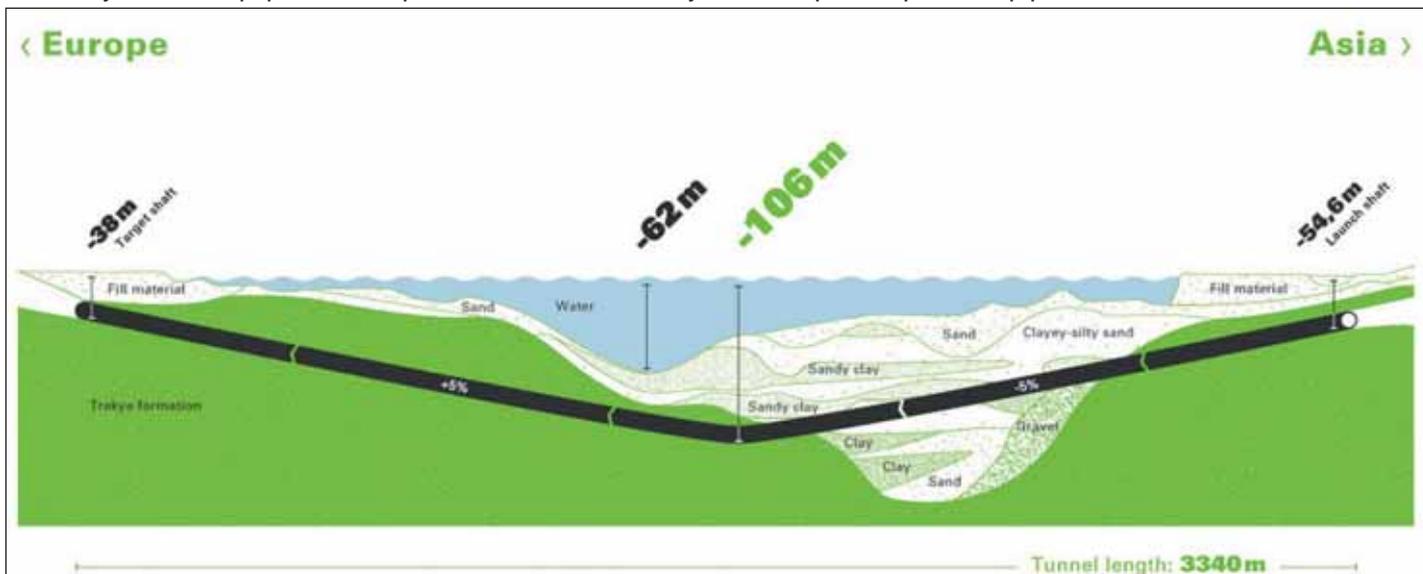


Тоннель, который соединяет континенты. За сутки около 100 тыс. машин смогут перемещаться по нему между Азией и Европой



Миксцит диаметром 13,66 м был специально разработан и произведен для проекта в Стамбуле

В самой глубокой точке профиля тоннель проходит более чем на 100-м глубине от поверхности пролива Босфор



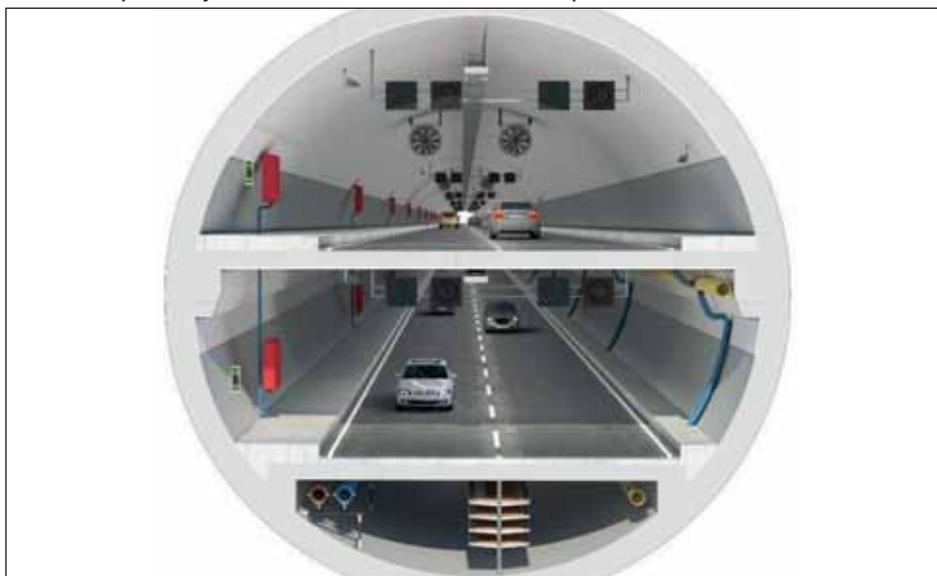


Вид на стартовую шахту ТПК на азиатской стороне Стамбула. С этой точки почти 3,5 км тоннеля пройдет непосредственно под Босфором



Безопасная проходка: механизированное тоннелестроение при помощи проходческих щитов позволяет вести проходку максимально автоматизировано и безопасно, контролируемо разрабатывая грунт и сооружая надежную обделку в один этап

Взгляд на перспективу: так выглядит законченный тоннель Евразия



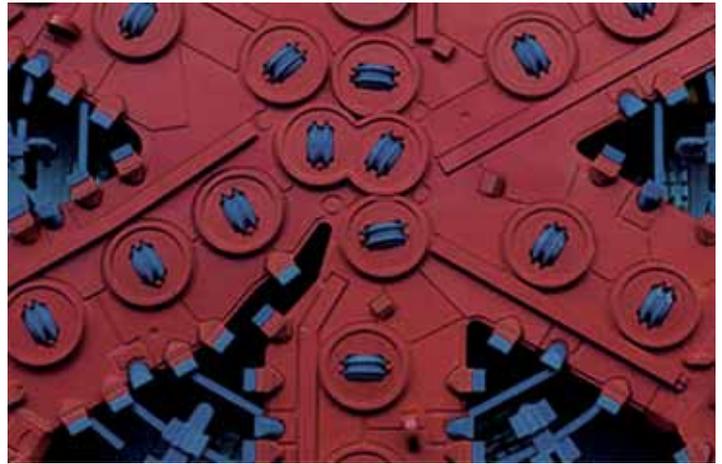
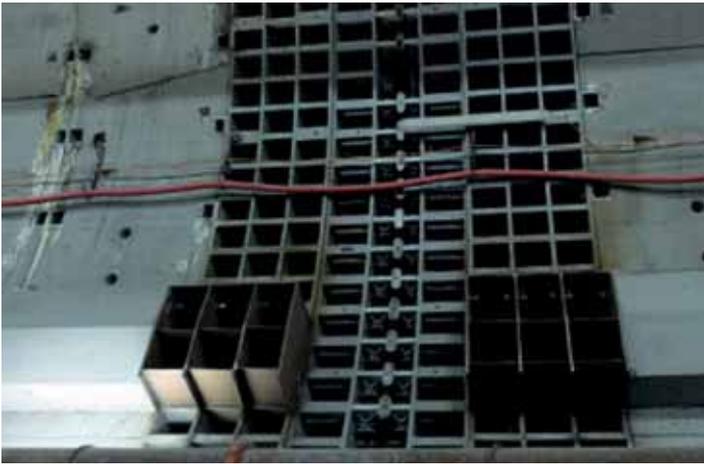
работа над проектом, в том числе над поиском финансирования, продолжилась, но разразился мировой финансовый кризис. Банки стали предъявлять сверхжесткие требования к заемщикам, требуя детальную техническую документацию по проекту и соблюдение всех без исключения требований по безопасности во время строительства.

Окончательное решение о сотрудничестве с компанией Herrenknecht и приобретении проходческого щита было принято в 2012 г. В ходе переговоров было решено, что компания Herrenknecht будет сопровождать это сложный проект на всем его протяжении.

Разгрузка транспортных потоков в городе

Внутренний диаметр прокладываемого тоннеля делает этот проект крайне сложным с инженерной точки зрения. Но только при таком диаметре тоннель Евразия сможет полностью выполнять свои функции: уже с конца 2016 г. более 100 тыс. машин в сутки двигаются по этому двухуровневому тоннелю из одной части Стамбула в другую. Такое перенаправление большого количества автомобилей положительно сказалось на движении в самом городе. Жители южной части города, которые до этого были вынуждены прокладывать свой маршрут через находящийся в центре постоянно загруженный мост First Bosphorus Bridge, теперь смогут воспользоваться тоннелем. В часы пик это помогает сэкономить до 90 минут.

Северный мост Fatih Sultan Mehmet Bridge, который до настоящего момента также являлся «бутылочным горлышком» для нормального проезда из одной части города в другую, также будет разгружен благодаря тоннелю Евразия. Если все пойдет, как задумано, то проложенный тоннель поможет решить транспортную проблему в масштабах всего 18-миллион-



Для нивелирования риска негативного эффекта от землетрясений потребовалась установка специальных подвижных колец для обеспечения гибкости тоннеля

Фронтальный вид на рабочий орган Миксцита Herrenknecht. Для работы в различных грунтовых условиях он оборудован различным режущим инструментом: резами и шарошками

ного Стамбула. Дополнительное преимущество перенаправления транспортных потоков в тоннель – это значительное уменьшение выхлопов автомобилей и улучшение экологической ситуации в центре города.

Универсальный проходческий комплекс

Неважно сколько усилий и знаний вложено в разработку проекта на бумаге, при выполнении работы всегда остается доля риска. В 17 км от трассы тоннеля располагается нестабильная зона, где особенно сильно могут проявиться последствия землетрясения, которые случаются не так уж и редко, учитывая, что Стамбул раскинулся вблизи двух тектонических плит. Решение этой проблемы – два специальных тоннельных кольца, которые работают как подвижное соединение в случае землетрясения, что позволяет тоннелю иметь необходимую гибкость.

Также при проходке щиту Herrenknecht пришлось столкнуться с пропластками различного грунта: мягкий грунт, песчаник, аргиллит, вулканическая горная порода и всегда колоссальное водяное давление. Такой грунт может преодолеть

только наиболее универсальный комплекс из всех, выпускаемых компанией Herrenknecht – Миксцит. Его рабочий орган оборудован различными типами режущего инструмента для работы в любой геологии: многочисленные большие резацы предназначены для мягкого грунта, 35 двойных 19-дюймовых шарошек, каждая из которых весит 1 т, начинают свою работу, когда щит входит в зону скального грунта. Разработанный материал засасывается через фильтр-сетку в передней части, а большие валуны расщепляются при помощи щековой дробилки – большого гидравлического Щелкунчика.

В то же самое время гидравлическая магистраль используется для создания необходимого давления в целях безопасного удержания забоя от давления грунтовых вод и породы. Принцип, впервые примененный компанией Herrenknecht много лет назад, уже сотни раз доказывал свою состоятель-



Большие валуны расщепляются перед сеткой-фильтром мощной гидравлической щековой дробилкой, а разработанный материал транспортируется по гидравлической магистрали на поверхность

ность при проходке в различных геологических условиях.

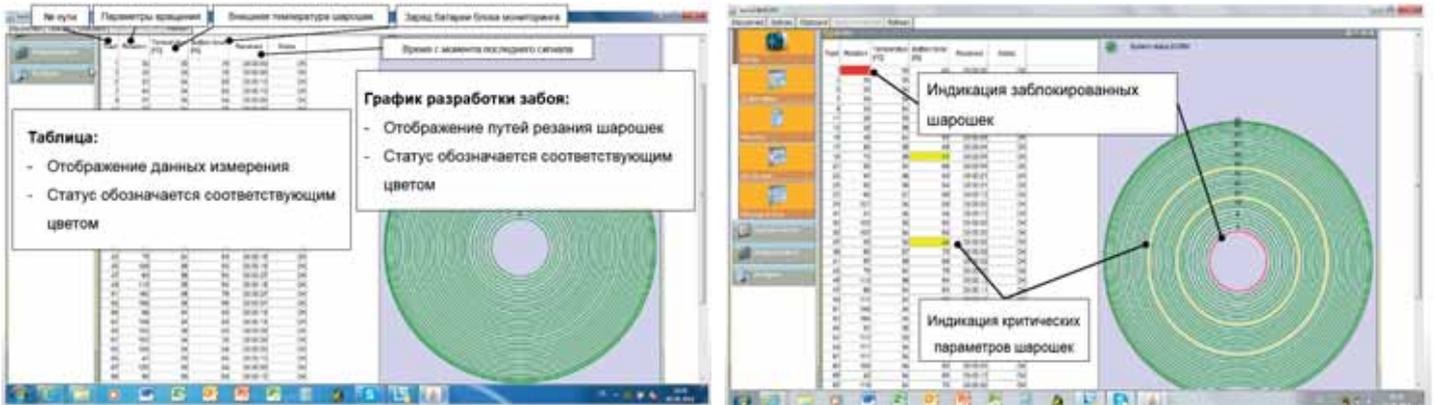
Легкая замена режущего инструмента в сложных условиях

Технология Миксцита позволяет выполнять проходку со скоростью 8–10 м в сутки даже в таких сложных грунтах, как под Босфором. Однако суровые условия и высокие механические нагрузки берут свое: даже самые крепкие материалы изнашиваются. Несмотря на то, что шарошки изготавливались из высококачественного сплава ультратвердых сталей, им требуется периодическая замена.

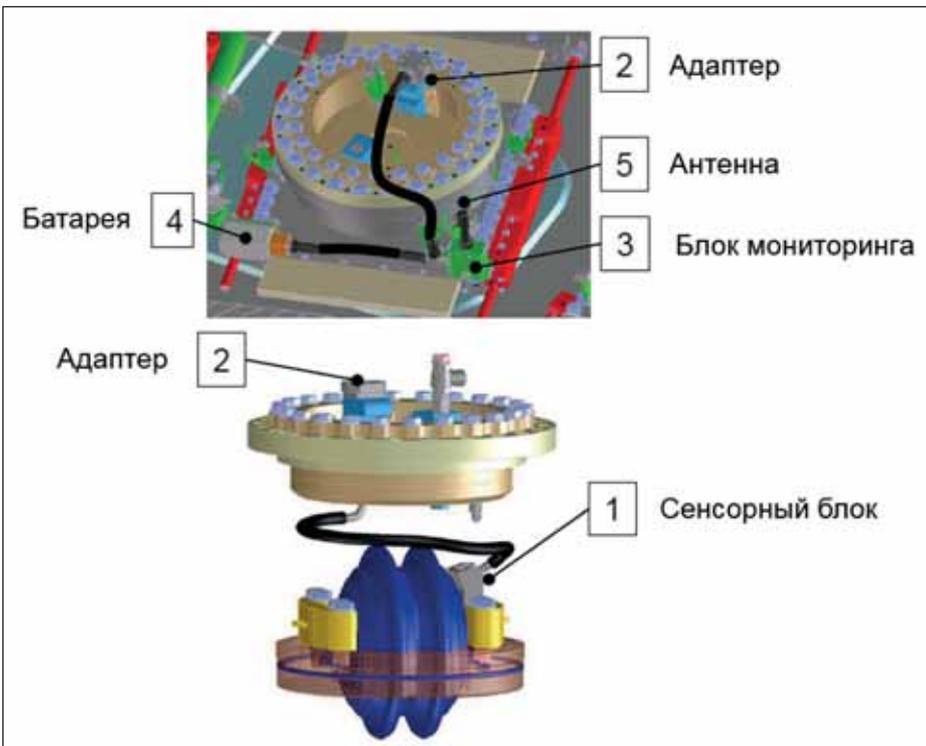
Из кабины управления оператор отслеживает все важные параметры в режиме реального времени – включая постоянное вращение и температурный режим шарошек

Благодаря инновационной конструкции рабочего органа замена режущего инструмента возможна при атмосферном давлении





Система DCRM отражает три состояния шарошки: активна, в критическом состоянии, заблокирована

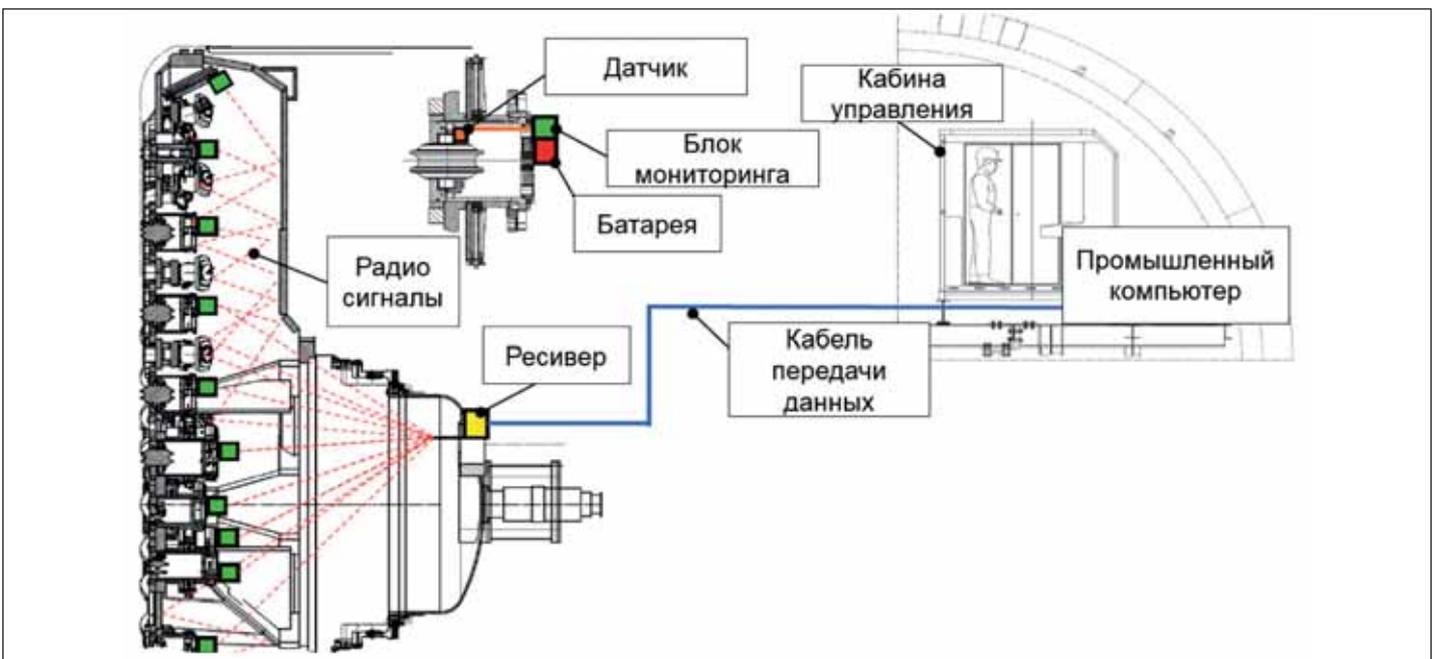


Система DCRM производит измерения вращения шарошек и температуры в режиме реального времени. Система проста в установке

Задача быстрой и легкой замены шарошек даже при высоком водяном давлении в 11 бар потребовала от компании Herrenknecht долгой и детальной инженерной проработки. Для достижения этой цели команда проектировщиков остановилась на концепции доступных для входа человека ребер рабочего органа. Данная концепция положительно зарекомендовала себя на проектах в Гамбурге и Шанхае – но при существенно более низком водяном давлении. Поэтому для огромного Миксцита под Босфором механизм крепления режущего инструмента на рабочий орган был переработан и улучшен. Результат – в Стамбуле персонал имел возможность безопасно и без особых сложностей производить замену шарошек и резов при атмосферном давлении.

За всю проходку команда заменила более 400 шарошек! Поначалу процедура замены шарошек длилась до 8 часов, но потом, с опытом, команда справлялась уже за 2–3 часа.

Во время всей проходки многочисленные датчики системы DCRM (система мониторинга вращения шарошек) в режиме реального времени отслеживали скорость





Трансферная барокамера с кессонщиками должна была пройти весь путь с поверхности до рабочего органа

Внутренний вид трансферной барокамеры, рассчитанной на четырех человек

вращения и температурный режим шарошек, подсказывая подходящий момент времени для замены режущего инструмента. При этом состояние каждой шарошки отслеживалось индивидуально, а данные отправлялись в графическом и цифровом виде на монитор в кабину управления. Система DCRM от Herrenknecht позволяет значительно снизить продолжительность и сложность сервисных работ благодаря возможности прогнозирования выхода оборудования из строя. Что, в свою очередь, обеспечивает высокую скорость проходки, сохранение оборудования и уменьшение времени простоя техники и людей.

Проблема и ее решение

При работе над таким амбициозным проектом важно быть готовым к любым неожиданностям. Большой поток разработанного материала, высокое давление, большие валуны в призабойной камере – все это привело к серьезному износу компонентов щита. Примерно на середине пути был обнаружен значительный износ на сетке-фильтре и щековой дробилке. После дополнительной оценки ситуации стало ясно, что необходимо организовать срочную починку, что является крайне сложной технической задачей, так как эти части находятся в призабойной камере под очень высоким давлением, доступ к которой могут получить только опытные кессонщики (промышленные водолазы). На протяжении трех недель они работали в условиях давления в 9 бар в той части машины, куда обычным людям доступ запрещен. Ночи они проводили в специальных барокамерах, которые к началу рабочего дня доставлялись непосредственно к месту работ. Наконец оборудование было починено, и щит снова мог начать двигаться. Решение такой сложной задачи было возможным лишь при тесном взаимодействии между заказчиком и компанией Herrenknecht.

Цель достигнута!

11 бар водяного давления, 13,66-метровый тоннель, изменяющиеся грун-



товые условия по трассе проходки, риск землетрясений: даже не смотря на комбинацию этих сложных факторов Микс-щит от Herrenknecht успешно и в срок за-

вершил проходку тоннеля Евразия 22 августа 2015 г.

Мечта султана, наконец, стала реальностью!



ШАЛЬНЫЕ ШТОЛЬНИ

В. З. Коган, Тоннельная ассоциация России

...Живет в городе Питере Юра Буров, наш бамтоннельевский бард. В одной из его чудесных песен есть такие слова: «шальными штольнями идем». Что же это значит?

Для непосвященных – сооружаем штольню в горном массиве. Штольня – горная выработка, имеющая выход на поверхность.

А вот почему штольни «шальные»?

Никто, кроме нас, тоннельщиков-бамовцев, не сможет ответить на этот вопрос.

...Самым неприятным, а порой и трагическим, для тоннельной буровой машины, коротко говоря – ТБМ, были встречи с разломами – крупными тектоническими разрывами земной коры. Тем более такими, как на трассе Северомуйского тоннеля: водонасыщенная песчаная масса с отдельными включениями скального обломочника.

Собственно, это не песок, а продукт истирания друг о друга гранитных блоков в процессе подвижки земной коры на протяжении многих тысяч, а может и миллионов, лет.

Эта мачмала, эта «похлебка», моментально заполняет полость режущей головки машины и блокирует ленточный конвейер, который должен бы отгружать горную массу в процессе ее разработки.

Временами конвейеру удастся сделать несколько судорожных движений и новые тонны мачмалы сползают с его ленты в лоток машины. Спустив в эту массу, рискуешь остаться без резиновых сапог: засасывает и не отпускает.

Режущая головка обжимается неустойчивой горной массой, и мощности привода головки недостаточно, чтобы ее повернуть.

Что делать? Машина встала и, судя по всему, надолго.

Было два варианта решения проблемы преодоления разлома.

Первый – опережающим разведочным бурением определить заранее границы разлома, который ожидается на трассе, и остановить машину в крепкой породе в нескольких метрах перед ним. После чего станком разведочного бурения через режущую головку и оболочку машины бурится серия скважин и далее через них производится «лечение» неустойчивой горной массы нагнетанием под давлением специального «лекарства» – химических компонентов. Последние должны пропитать неустойчивую, подвижную горную массу и, схватившись, связать ее в единый монолит.

Образно говоря, превратить похлебку в камень.

Существует множество методов и технологий химического закрепления неустойчивых грунтов. Недаром в английском языке эти процедуры называются «soiltreatment», что можно перевести и как «лечение грунтов».

Не место здесь описывать грандиозные работы, выполненные Бамтоннельстроем при внедрении, и даже разработке, методов химическо-



Митинг, посвященный запуску в работу ТБМ компании «Роббинс»

го закрепления грунтов. Мы перепробовали все возможные и невозможные методы, включая такие экзотические, как нагнетание полиизоцианатов – продуктов, применяемых для ремонта подводных лодок и подводных трубопроводов.

Результатом внедрения полиизоцианатов в практику подземного строительства, которое выполнялось в сотрудничестве с каким-то из киевских НИИ, явилось продление сроков службы нашей расхожей обуви. Ушлые киевляне привозили нам в качестве презента полиизоцианаты, заправленные в пустые тубы от зубной пасты. Достаточно было выдавить из тубы эту черную массу на подошву ваших туфель, дать ей застыть и обувь служила намного больше обычного срока.

Ну, а если говорить серьезно, опережающее химическое закрепление разломов перед ТБМ в штольне Северомуйского тоннеля себя не оправдало, и мы очень скоро перенесли эти работы на трассу главного, железнодорожного тоннеля.

Причины? Их несколько.

Во-первых, чтобы остановить машину в нескольких метрах перед разломом, необходимо знать предварительно его, хотя бы примерное, расположение, после чего точные границы разлома определяются разведочным бурением с машины.

Северомуйский тоннель начали строить, не имея достоверных геологических данных о горных породах по его трассе.

Многомесячные простои привлекли внимание самых высоких органов, включая государственные. К решению проблемы была привлечена Академия наук СССР. Помнится,

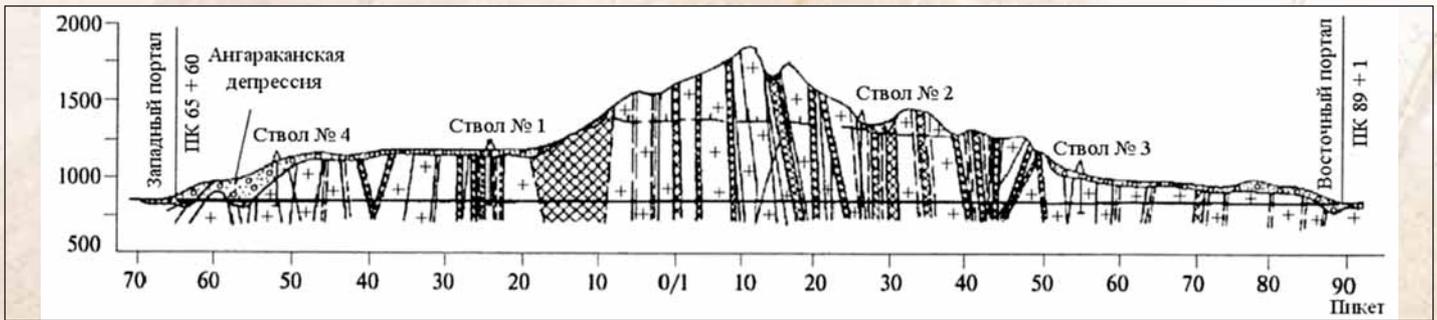
кто-то из специалистов иркутского Института земной коры, созданного в 1949 г. специально для изучения этого региона молодых гор, заявил: «Если надо было выбрать место, где строить тоннель нельзя, то вы его нашли».

Трасса тоннеля пересечена многими десятками разломов, шириной от нескольких десятков сантиметров до 800 м на западном участке тоннеля. Позже к исследованию трассы привлекли специалистов по космосу. Оказалось, что на снимках из космоса разломы хорошо видны, так как они выходят на поверхность. Сопоставив документированное положение разломов на уже пройденных участках тоннеля со снимками из космоса, удалось создать методику определения с известной степенью точности, на каком примерно метре тоннеля и какой очередной разлом нас ожидает.

...Останавливать машину через каждые 40 метров и проводить опережающее разведочное бурение для предотвращения неожиданной встречи с разломом никто не хотел и не рещался. Из Москвы шли постоянные звонки и окрики: «Почему стоит машина, почему не двигаетесь вперед?»

Во-вторых, машина наша была одной из первых среди так называемых телескопных машин или, другими словами, машин с двумя оболочками. Наклонные порты (отверстия) в корпусе машины для бурения изнутри ее разведочных скважин и скважин для закрепления грунтов появились на подобных машинах позже.

В-третьих, небольшие по протяженности разломы зачастую удавалось «проскакать» сходу, избежав блокировки машины в разломе.



Геологический разрез Северомуйского тоннеля

В громадной степени такие успехи зависели от опыта оператора машины и слаженности работы бригады проходчиков.

Учитывая, что одной из основных, если не основной, задачей для ТБМ было получение реальной геологической информации по трассе тоннеля – расстояние между осями пилот-тоннеля и основного тоннеля обычно составляло 30 метров – мы всеми силами гнали машину вперед.

Полученная в штольне геологическая информация давала возможность подготовить проект производства работ для проходки на этом участке главного тоннеля, поэтому изначально забой транспортно-дренажной штольни должен был опережать забой главного тоннеля. Другими словами, опыт преодоления разломов щитом был бесценным при гораздо более сложной работе – преодолении этих же разломов выработкой большего сечения – основным железнодорожным тоннелем.

За некоторыми исключениями, проходка штольни американской буровой машиной «Роббинс» велась по принципу «Только вперед!»

Все мы надеялись проскочить разлом, если он встретится, сходу.

Иногда это удавалось, иногда – нет.

Это и был второй вариант решения проблемы преодоления геологических нарушений.

Бывало неоднократно, что щит неожиданно «влетал» в разлом, и попытки продвинуть машину не приводили к успеху.

Тогда следовали сложившейся практике: разведочным бурением через режущую головку определяли характер и границы разлома, засекали из пилот-тоннеля боковую штольню и шли буровзрывным способом до контакта с разломом. На этой стадии началась работа, которую можно назвать двумя словами, никак, вроде, не сочетающимися: опасная и ювелирная. Или наоборот: ювелирная и опасная.

Проходили штольной несколько метров до второй границы разлома и далее разделяли камеру перед режущей головкой, то есть освобождали ее от вязкой горной массы.

Оставалось продвинуть машину в освобожденное пространство камеры и, по достижению контакта режущей головки со скальной стенкой, начать бурение.

Здесь в подлинной мере проявлялось мастерство проходчиков: важно было не допустить прорыва неустойчивой горной массы в штольню. Тут не было места буровзрывному

методу и приходилось отвоевывать штольню буквально по сантиметрам. В ход шла и забивная крепь и «шилья». Шилья – местное название метода, когда по периметру свода выработки бурится серия скважин, в которые вставляется арматурная сталь достаточно большого диаметра. Шилья предотвращали обрушение в штольню скального обломочника, но, конечно, не могли уберечь от мажмалы.

Со временем метод совершенствовался и, если позволяли геологические условия, круглый пилот-тоннель расширяли с одной стороны (делали так называемую присечку) и далее вели проходку штольни от конца хвостовой оболочки машины параллельно и вплотную к корпусу машины. При этом проходчики ставили только одну стойку, а верхняк опирали на эту стойку и оболочки машины.

Метод довольно варварский: взрывали породу мелкими зарядами практически вплотную к машине, но позволял сберечь много времени и был более безопасным для людей.

Порой взрывчатки закладывали больше, чем надо бы, и корпусу машины доставалось. Я всегда шучу: когда машину демонтировали, то обнаружили, что в результате многочисленных случаев такого над ней насилия корпус ТБМ потерял круговое очертание и приобрел форму сечения, скорее, многоугольного.

Во всяком случае, шрамов от сварки на ее корпусе хватало.

Отдельная тема – подземные воды транспортно-дренажной штольни Северомуйского тоннеля.

Насыщенные вредным для здоровья газом радоном. Находящиеся под давлением до 40 бар. При температурах от 4 до 50 градусов Цельсия.

Временами проходчикам и слесарям приходилось работать по пояс в ледяной воде при сокращенном до 4 часов рабочем дне.

Позже два наших славных московских снабженца раздобыли водолазное белье из верблюжьей шерсти, которое люди одевали под резиновую спецовку.

...Не так давно мне приснился щит «Роббинс», поставленный на пьедестал близ портала тоннеля как памятник мужеству и инженерному подвигу тоннельщиков-бамовцев. Я был в восторге, но возмущался, что с оболочки машины не срезали монтажные рымы и оставили машину в таком «нерабочем» виде.

Проснулся озадаченным, почему этой фотографии нет в моей коллекции.

Запросил ее у редакции малотиражного журнала «Северомуйские огни», который выпускают энтузиасты в далеком Северомуйске. Ответа, кажется, не дождался. Там, скорее всего, не поняли, что я имел в виду.

И только через несколько дней я вспомнил, что видел такой оригинальный памятник на ангийской стороне знаменитого железнодорожного тоннеля под проливом Ламанш.

У нас, к сожалению, до этого не догадались, хотя есть другие оригинальные памятники подвигам бамовских тоннельщиков: поставленные на пьедестал гусеничный вездеход ГТТ, глухая вагонетка и самосвалный автопоезд МОАЗ.

Поскольку разлом на разлом не похож, обходные штольни каждый раз получались непохожими друг на друга. Если добавить сюда исключительную опасность работ по освобождению машины из разлома, становится понятным, почему Юра Буров назвал в своей песне эти штольни «шалльными».

Песня разлетелась по всему многотысячному коллективу Бамтоннельстроя и даже далее.

Исполняли ее дуэтом Юрий Буров и Александр Чупров, парень из Нижнего Новгорода (песни Юрия Булова можно найти в Интернете).

Первый качественный сборник их песен был сделан в начале 80-х годов на моей квартире в Нижнеангарске. Дело в том, что я владел редким тогда у нас громадным двухкасетным магнитофоном «Шарп 777», позже известным среди любителей хорошей аппаратуры под именем «Три семерки».

«Шарп» этот превосходно писал и имел такую же акустику.

Определение «шалльные» стало нарицательным и всякий тоннельщик-бамовец понимает, что «пройти шальную штольню» – это не что иное, как «соорудить обходную штольню».

Опыт освобождения ТБМ из тисков разломов оказался бесценным при моей работе на Тайване, где пришлось встретиться с подобной проблемой на строительстве Пинглинского автодорожного тоннеля.

Вернее, это было проблемой для китайцев. До появления на стройке небольшой группы российских тоннельщиков, проходивших незадолго до этого шалльные штольни в далекой Бурятии.



ПАМЯТИ ГЕННАДИЯ ЯКОВЛЕВИЧА ШТЕРНА

Н. Н. Соловьева, главный редактор газеты «Метростроевец»



В прошлом году не стало Геннадия Яковлевича Штерна, замечательного человека, талантливого руководителя производства, Строителя с большой буквы, посвятившего всю свою жизнь тоннеле- и метростроению. Его труд отмечен званиями «Заслуженный строитель России» и «Заслуженный строитель Узбекской ССР», знаками «Почетный строитель России», «Почетный транспортный строитель». Он награжден орденами Дружбы и «Знак Почета», медалью ордена «За заслуги перед Отечеством».

Сын строителя, брат строителя... Его дорога была predetermined уже самой семейной традицией. Окончив Саратовский политехнический институт, Геннадий Яковлевич получил распределение в Ташкент, где начал трудиться мастером в Мостоотряде. И пока не появилась в республике Узбекистан новая организация – Ташкентский метрострой – молодой инженер строил мосты. В Управление строительства его взяли заместителем главного инженера. Но уже через два года он возглавил коллектив СМУ-1, который из восьми станций первой очереди метро построил три. Несмотря на то, что трасса пролегла в зоне просадочных, лессовых, водонасыщенных грунтов, несмотря на повышенную сейсмичность, линия была сдана в рекордно короткие сроки, что стало возможно лишь благодаря высочайшему профессионализму и мастерству ее строителей, одним из которых был Геннадий Яковлевич Штерн. Десять лет – начальник СМУ, двенадцать – начальник Ташметростроя. Он немало сделал для создания и

укрепления организации, ее авторитета среди метростроев страны. В одном из своих интервью Геннадий Яковлевич с гордостью говорил: «Ташметрострой по производительности труда считался одним из лучших в Главке. Коллектив активно внедрял современные технологии, новую технику, его отличал высокий уровень дисциплины и ответственности».

Приезд в Москву метростроителей из Ташкента по приглашению руководства Мосметростроя был связан с решением правительства города увеличить протяженность столичного метрополитена на 45 км. Филиал «Ташметрострой», созданный Штерном, успешно построил станцию «Волжская» Люблинской линии с перегонными тоннелями и притоннельными сооружениями.

В январе 1998 г. Геннадий Яковлевич был переведен в Москву начальником Дирекции строящегося метрополитена – заместителем начальника Метрополитена. И хотя, по его словам, работа нравилась, душой и сердцем он оставался производственником, скучал

по стройке. В 1999 г. Штерн возглавил Московский метрострой.

Приняв на себя руководство в сложнейшее для коллектива время, он, прежде всего, направил свои силы на то, чтобы обеспечить организацию полной загрузкой и ликвидировать накопившуюся задолженность по заработной плате.

Талантливый инженер и организатор производства, Геннадий Яковлевич стремился вернуть коллективу былую мощь, вывести его на новый, современный уровень. Он сделал все необходимое для технического перевооружения Мосметростроя: приобретались горнопроходческие комплексы, в том числе и для проходки эскалаторных тоннелей, самая современная техника для спецработ по сооружению ограждающих конструкций, по закреплению грунтов. С ростом потенциала рос и авторитет коллектива. Такие уникальные городские объекты, как Кутузовская и Гагаринская развязки, двухуровневые Серебрянорборские тоннели стали лучшим подтвер-





Г. Я. Штерн, С. С. Зайцев и Д. В. Гаев на открытии станции «Митино»



Строительство вестибюля станции «Маяковская». Г. Я. Штерн с коллегами – О. Н. Мельниковым и В. В. Максимовым

ждением умения и способности Московского метрополитена выполнять самые сложные задачи на высочайшем инженерном уровне.

Под руководством Штерна были построены и успешно сданы в эксплуатацию более десяти станций метро, в числе которых такие красавицы, как «Сретенский бульвар», «Трубная», «Марьино», «Достоевская», второй выход «Маяковской»...

Он укрепил коллектив квалифицированными кадрами: высокий уровень профессиональной подготовки наших специалистов

отмечали представители зарубежных фирм – производителей проходческого оборудования. Стабильность коллектива обеспечивал также достойный социальный пакет, который имел каждый метропостроенец.

Будучи человеком слова, обладая максимальной мерой ответственности и самоотдачи, Геннадий Яковлевич свою главную задачу – поднять престиж Московского метрополитена, сделать жизнь коллектива лучше, качественнее – успешно выполнил. Навсегда запомнились слова, сказанные

им в юбилейном интервью, в год его 60-летия: «Всегда приятно, когда что-то важное свершилось, что-то большое сделано. И сделать хочется еще больше».

Он многое сделал для Ташкента, Москвы, страны. Активно работал и в последние годы, являясь председателем правления Тоннельной ассоциации России. Он строил планы...

Память о Геннадии Яковлевиче, высокообразованном, интеллигентном, неравнодушном человеке, навсегда останется в сердцах тех, с кем он трудился, дружил, общался.



ПАМЯТИ АЛЕКСАНДРА ПАВЛОВИЧА МЕЛЬНИКА



Александра Павловича родился 14 октября 1953 г. в г. Новосибирске.

В 1977 г. окончил Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта по специальности «Мосты и тоннели», и был распределен в Сибгипротранс.

С началом строительства первого в Сибири метрополитена в г. Новосибирске был создан проектный институт «Новосибметропроект», в котором с 1979 г. Александр Павлович прошел путь от начальника бригады конструкторов до генерального директора.

В этот период Новосибирметропроект одновременно вел работы по Новосибирскому,

5 октября 2016 г. после продолжительной болезни, на 63-м году жизни скончался Александр Павлович Мельник.

Алма-Атинскому, Омскому, Свердловскому, Красноярскому метрополитенам и Таллинскому скоростному подземному трамваю, а также выполнял заказы МПС СССР – тоннели БАМ, новый Рачинский тоннель на ДВЖД, ремонт и осушение железнодорожных тоннелей линии Абакан – Тайшет, Новокузнецк – Абакан и др.

Александр Павлович Мельник был активным членом Сибирского отделения Тоннельной ассоциации России, как один из опытных руководителей в области проектирования и строительства тоннелей и метрополитенов. Он отличался высокой работоспособностью, независимостью и самостоятельностью мышления, в своей деятельности опирался на достижения мировой науки и практики, применяя современные технологии в производстве.

Под непосредственным руководством А. П. Мельника институтом ЗАО «Новосибметропроект» в 2006 г. разработаны уникальные проекты строительства объектов метрополитена в г. Новосибирске: пересадочная станция «Березовая роща» под эксплуатируемым торговым центром и станция «Золотая Нива».

В 2010 г. Александр Павлович возглавил ООО «Красноярскметропроект», которое выполняло проект строительства правобережного участка Дзержинской линии с перегонными тоннелями, эстакадами и двумя

станциями «Гусинобродская» и «Молодёжная», с выходом к новому метродепо и «восточным воротам» г. Новосибирска; внесло весомый вклад в проектирование объектов Московского метрополитена при строительстве новых станций «Лермонтовский проспект», «Жулебино» и «Котельники».

Кроме производственной деятельности Александр Павлович многие годы передавал свой богатый опыт и знания молодым поколениям тоннельщиков, работая профессором кафедры тоннелей и метрополитенов СГУПС. С 1999 г. был членом, а с 2009 г. – председателем Государственной аттестационной комиссии по специализации «Тоннели и метрополитены».

Мельник Александр Павлович имел звание «Заслуженный строитель России» и другие награды, включая медаль «За строительство Байкало-Амурской магистрали». Его профессионализм, организаторские способности, богатый производственный опыт, преданность выбранной специальности и тоннельному братству, традициям студенческих лет будут служить эталоном для нового поколения тоннельщиков.

Светлая память об Александре Павловиче всегда будет жить в наших сердцах.

*Друзья, коллеги
СГУПС, Сибирское отделение ТАР*

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ СПИРИДОНОВИЧА БУЛЫЧЕВА



28 ноября 2016 г. на 84-м году ушел из жизни Николай Спиридонович Булычев – советский и российский учёный–геомеханик, доктор технических наук, профессор, член Международного общества механики горных пород (ISRM) (1999), лауреат Премии Совета Министров СССР (1984) и премии Правительства Российской Федерации (1994), основоположник механики подземных сооружений, заслуженный деятель науки и техники РФ, член Европейского технического комитета ERTC-9 по тоннелестроению в горных условиях, Международного общества по механике грунтов и фундаментостроению, Ассоциации геомехаников России, Международного общества горных профессоров, Тоннельной ассоциации России, Международной тоннельной ассоциации.

Николай Спиридонович родился в г. Яранске, Кировской области, в семье, имевшей глубокие крестьянские корни. В 1949 г. поступил в Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова на шахтостроительный факультет, который окончил с отличием в 1954 г., получив специальность горного инженера-строителя.

С 1954 по 1972 г. работал во ВНИМИ младшим научным сотрудником, а затем и заведующим лабораторией.

В 1962 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование некоторых вопросов взаимодействия горного массива с крепью вертикальных стволов», а в 1971 г. – докторскую диссертацию на тему «Основные вопросы строительной механики вертикальных шахтных стволов, сооружаемых бурением и обычными способами».

С 1972 по 1980 г. Николай Спиридонович работал в Ленинградском горном институте, возглавлял кафедру строительства горных предприятий. В это время им формируется новая научная и учебная дисциплина «Механика подземных сооружений», включенная в 1976 г. Минвузом СССР в учебный план подготовки студентов по специальности «Строительство подземных сооружений и шахт».

В 1980 г. по приглашению руководства Тульского политехнического института (впоследствии ТулГУ) Николай Булычев переехал в г. Тулу и возглавил кафедру строительства подземных сооружений горного факультета ТПИ.

В 1981 г. он был избран членом Международного бюро по механике горных пород Всемирного горного конгресса. В 1982 г. издал первый в Советском Союзе учебник «Механика подземных сооружений». Второе издание этого учебника (1994) было удостоено премии Правительства Российской Федерации. В 1984 г. за работы в области проектирования и скоростного строительства шахтных стволов профессор Булычев был удостоен Премии Совета Министров СССР. В 1980 г. избран заведующим кафедрой строительства под-

земных сооружений и шахт Тульского политехнического института. Сохранял эту должность вплоть до реорганизации горного факультета ТулГУ в 2006 г. В 2007–2013 гг. – профессор кафедры геотехнологии и строительства подземных сооружений ТулГУ. Премия Совета Министров СССР (1984) за работы в области проектирования и скоростного строительства шахтных стволов. Николай Спиридонович – лауреат Премии Государственного комитета СССР по народному образованию (1990), заслуженный деятель науки и техники РФ (1993), лауреат Премии Правительства Российской Федерации (1995), действительный член Академии горных наук (АГН) (1995), член исполкома Международной тоннельной ассоциации (1999–2002), член Международного бюро по механике горных пород Всемирного горного конгресса, Европейского технического комитета ERTC-9 по тоннелестроению в горных условиях, Международного общества по механике грунтов и фундаментостроению, Ассоциации геомехаников России, Международного общества по механике скальных пород, Международного общества горных профессоров, Тоннельной ассоциации России. Кавалер знака «Шахтерская слава» трех степеней, иностранный член Академии строительства Украины по отделению «Строительство шахт, рудников и подземных сооружений» (2001).

Его труды известны во всем мире, а многогранная научная деятельность служит делу возрождения и прогресса российской горной науки по сей день. Его ученики занимают ведущие позиции в горном образовании и на Дальнем Востоке, в Горном институте ДВФУ, возглавляя кафедры и занимаясь подготовкой кадров.

Много лет Николай Спиридонович Булычев был членом правления Тоннельной ассоциации России и принимал активное участие во всех мероприятиях, проводимых ТАР.

Тоннельная ассоциация России выражает глубокое соболезнование родным и близким Николая Спиридоновича Булычева.